



Thèse

2014

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

La Construction de critères de scientificité pour la démarche d'investigation
: une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école
primaire

Blanquet, Estelle

How to cite

BLANQUET, Estelle. La Construction de critères de scientificité pour la démarche d'investigation : une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école primaire. Doctoral Thesis, 2014. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:42783

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:42783>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:42783](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:42783)

Sous la co-direction d'André Giordan, Joaquim Dolz-Mestre, Éric Picholle (Nice) et Pierre Coulet (Nice)

Thèse en cotutelle entre les Universités de Genève et de Nice Sophia Antipolis

**LA CONSTRUCTION DE CRITÈRES DE SCIENTIFICITÉ
POUR LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION.**
**Une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique
à l'école primaire.**

THÈSE

Présentée à la
Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en Sciences de l'Éducation

par

Estelle BLANQUET

de

Nice (France)

Thèse No 591

GENÈVE

Novembre 2014

N° étudiante : 09-327-420

UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS - UFR Sciences
École Doctorale de Sciences Fondamentales et Appliquées

THÈSE

pour obtenir le grade de
Docteur en Sciences
de l'Université de Nice Sophia Antipolis
Discipline : **Physique**

présentée et soutenue par
Estelle BLANQUET

LA CONSTRUCTION DE CRITÈRES DE SCIENTIFICITÉ POUR LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION.

Une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école primaire.

Thèse en cotutelle entre les Universités de Nice Sophia Antipolis et de Genève

co-dirigée par *Pierre COULLET, André GIORDAN et Éric PICHOLLE*

soutenue le 24 novembre 2014

Jury :

Prof. Pierre Couillet, Université de Nice Sophia Antipolis
Prof. Joaquim Dolz-Mestre, Université de Genève
Prof. André Giordan, Université de Genève
Prof. Roger Maynard, Université Joseph Fourier de Grenoble
Prof. Jean-Louis Martinand, ENS Cachan (rapporteur)
Prof. Paul-Antoine Miquel, Université Toulouse Jean Jaurès (rapporteur)
Dr. Éric Picholle, CNRS Nice
Prof. Yves Quéré, membre de l'Académie des Sciences (président)



UNIVERSITÉ DE GENÈVE

FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE ET DES
SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Bd du Pont-d'Arve 40 | CH-1211 Genève 4

Doctorat en sciences de l'éducation

en cotutelle avec l'Université de Nice Sophia-Antipolis

Thèse de Estelle Blanquet

Intitulée : La construction de critères de scientificité pour la démarche d'investigation. Une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école primaire

*
La Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, sur préavis d'une commission formée par les professeurs : André Giordan, co-directeur, FPSE, Université de Genève, Joaquim Dolz, co-directeur, FPSE, Université de Genève ; Eric Picholle, co-directeur, CNRS (Nice, LPMC) ; Pierre Couillet, co-directeur, Université de Nice Sophia-Antipolis ; Jean-Louis Martinand, ENS Cachan ; Yves Quéré, Ecole polytechnique, France ; Roger Maynard, Université Joseph Fourier de Grenoble ; Paul-Antoine Miquel, Université Paul Sabatier, Toulouse 2/Le Mirail

autorise l'impression de la présente thèse, sans prétendre par là émettre d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

GENEVE, le 24 novembre 2014

Le doyen :

Pascal Zesiger

Thèse No 591

Numéro d'immatriculation : 09.327.420

À mes parents

1. Introduction

Pour enseigner efficacement les sciences, un enseignant doit avoir une notion claire de la nature de son sujet — des qualités spécifiques qui séparent la science des autres domaines d'étude. Avec une telle compréhension, la science peut être enseignée comme un élément séparé ou intégrée à d'autres domaines sans perdre ses caractéristiques propres. En l'absence de cette compréhension, il risque d'y avoir peu d'activités, même dans le cadre de leçons spécifiques de science, qui soient réellement scientifiques.

Wynne Harlen

Les enfants aiment les sciences. Il suffit d'entrer au Palais de la découverte, à Paris ou au musée des sciences de Londres, de se rendre aux nombreux événements organisés à l'occasion de la Fête de la science ou, plus localement, dans un Jardin des sciences des Alpes-Maritimes pour voir briller les yeux et éclore les sourires des petits autant que des grands.

C'est beaucoup, mais cela ne saurait suffire... Aujourd'hui, seulement 27% des élèves en fin de CM2 font preuve d'aisance dans la manipulation des concepts étudiés tandis que près de 16% ne les maîtrisent pas¹ ; ils ne sont qu'environ 9% à maîtriser les compétences nécessaires à la mise en œuvre d'une démarche d'investigation, selon les chiffres mêmes du Ministère de l'Éducation Nationale français.² Ces chiffres sont stables depuis 2007.

Le triste constat est inévitable : en dépit des efforts déployés pour promouvoir, avec la démarche d'investigation (officiellement recommandée par les programmes de l'école primaire depuis 2002³), un enseignement des sciences attractif à l'école primaire, celui-ci « marche » mal. Les raisons en sont certainement multiples et complexes, et de tous ordres — pédagogiques, psychologiques, anthropologiques, politiques, financières, etc. Aucune solution miracle ne résoudra à elle seule un problème de cette envergure. Pour autant, on peut tenter d'identifier certains de ses paramètres pertinents, et de déterminer comment on pourrait les faire évoluer plus favorablement.

Mon intuition, fondée sur près de 15 ans de pratique de la formation à la démarche d'investigation de milliers d'enseignants et futurs enseignants du primaire auxquels j'ai tenté de faire partager ma passion des sciences,⁴ est que l'un de ces paramètres pourrait être, indépendamment du problème de "niveau" — par définition assez élémentaire à l'école primaire —, la difficulté des enseignants à se représenter clairement la nature même de la science.

1. « CEDRE 2013 - Grande stabilité des acquis en sciences en fin d'école depuis 2007 ». Synthèse disponible sur le site du ministère. <http://www.education.gouv.fr/cid54836/cedre-2013-grande-stabilite-des-acquis-en-sciences-en-fin-d-ecole-depuis-2007.html> (consulté septembre 2014)

2. Un demi-siècle après l'introduction, entre 1946 et 1952, des "classes nouvelles" au collège.

3. « CEDRE 2013 - Grande stabilité des acquis en sciences en fin d'école depuis 2007 ». Note d'information de la DEPP (Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance), N°27, juillet 2014, p. 3.

4. Formatrice d'enseignants du primaire en physique depuis 2000, j'ai travaillé aux IUFM de Franche-Comté (2000-2001), de Bourgogne (2003-2007) et de Nice (depuis 2007). J'ai par ailleurs assuré la formation des enseignants du secondaire à l'IUFE de Genève en 2013-2014.

L'idée que « *pour enseigner efficacement les sciences, un enseignant doit avoir une notion claire de la nature de son sujet* » n'a rien d'original. Je l'emprunte à Wynne Harlen, l'une des pionnières de la réflexion sur l'enseignement des sciences au primaire, qui insistait dans un rapport pour l'I.A.P.⁵ sur le caractère crucial d'une vision claire de la nature de la science pour enseigner les sciences. Plus généralement, la question de la nature de la science (NoS, dans le jargon de la didactique anglo-saxonne) et de son appropriation par les enseignants est devenue un enjeu considérable de la recherche en didactique des sciences. Son enseignement explicite est par ailleurs l'un des enjeux des récentes réformes des programmes américains et anglais, y compris pour l'école primaire.

Elle est en revanche moins courante en France, où la nature de la science est tout simplement absente des programmes d'enseignement des sciences à l'école primaire. On ne dispose en outre que de fort peu de données sur sa perception aussi bien par les écoliers français que par leurs professeurs.

Objectifs et grandes lignes de la thèse

L'objet de cette thèse est donc, d'une part, de développer des outils épistémologiques accessibles aux enseignants du primaire et, d'autre part, de documenter autant que possible le rapport à la science des élèves et des enseignants français.

La partie théorique de ce travail a donc elle-même une vocation appliquée. Il s'agira de préciser autant que possible la notion de science scolaire, non de faire œuvre originale dans le débat séculaire sur la nature de la science. C'est pourquoi nous excluons largement de notre propos les marges actuelles de la recherche scientifiques — nous épargnant ainsi les difficultés épistémologiques associées — pour nous appuyer sur la théorie des "trois mondes" de Karl Popper et qualifier en particulier différents types de savoirs établis (du "monde 3"). Nous nous appuyons également sur la notion de "subjectivité collective", la communication et la communicabilité étant au cœur même de toute transmission des savoirs, et donc de la science scolaire, qui se joue en grande partie au niveau individuel ("monde 2").

Pour le professeur des écoles enseignant les sciences, l'enjeu est alors de faire accéder ses élèves à la science scolaire, conçue comme une culture savante. Des jeux de *critères de scientificité* adaptés au niveau de sa classe lui permettent de valider une pratique donnée comme recevable, ou non, en tant que "scientifique". On peut qualifier de "*bottom-up*" cette approche ascendante, qui part des pratiques de classe élémentaires pour construire progressivement une représentation de la nature de la science. Par opposition, l'approche traditionnelle, qui part d'une vision de la "science

5. I.A.P. (2009) Teacher Professional Development in Pre-Secondary School Inquiry-Based Science Education (IBSE). Wynne Harlen and Jorge E. Allende (Eds),. Accessible sur le site de l'IAP (consulté septembre 2014) : <http://www.interacademies.net/12238/2951/12250/9348.aspx>. C'est également de ce rapport qu'est extraite la phrase en exergue : « *To teach science effectively a teacher needs a clear notion of the nature of the subject - of the distinctive qualities that separate science from other subject domains. With such an understanding science can be taught as part of a topic, integrated with other subjects yet still retain its special features. Without such understanding there may be little activity, even in separate science lessons, that is truly scientific.* » (p. 19). L'InterAcademy Panel (I.A.P.) est un réseau qui rassemble au plan mondial les Académies des sciences.

des scientifiques”, édulcorée à mesure qu’on descend en niveau pour l’adapter aux enseignements scolaires, sera dite “*top-down*”.

La partie expérimentale, quant à elle, visera à déterminer l’évolution du rapport à la science de différents publics impliqués dans des démarches d’investigation soumises aux critères de scientificité précédemment définis.

En ce qui concerne les enseignants et futurs enseignants, nous adopterons la posture de praticien-chercheur, classique en sciences sociales,⁶ pour expérimenter à partir de nos propres formations à la démarche d’investigation en physique. Elle nous permettra d’évaluer la réception de l’outil développé et la capacité des enseignants à s’emparer, ainsi que d’identifier les modalités les plus favorables à son appropriation.

Par ailleurs, la mise en place dans leurs classes, par des enseignants en poste, de séquences adaptées permettra de déterminer la capacité des élèves à pratiquer une “science scolaire” légitime, même à un niveau nécessairement limité. Nous concentrerons en particulier notre attention sur la Grande Section de maternelle, pour déterminer s’il est possible d’initier des enfants, dès 4/5 ans, à des activités authentiquement scientifiques, comme la modélisation.

Présentation des parties du manuscrit

La structure du présent mémoire traduit directement la double ambition consistant à développer des outils épistémologiques et à documenter le rapport à la science des élèves et des enseignants.

Après un **État des lieux** assez détaillé (Partie 2) et une présentation de la **Problématique** (Partie 3) et de la **Méthodologie** (Partie 4), la **construction d’un ensemble opératoire de critères de scientificité** est présentée dans la Partie 5, ainsi que ses implications didactiques et épistémologiques.

L’étude expérimentale de l’**appropriation de ces critères par des enseignants** et futurs enseignants du primaire, selon diverses stratégies pédagogiques, fait l’objet de la Partie 6.

La possibilité de **transmettre à de très jeunes enfants** (Grande Section de maternelle) des bases d’une pratique authentiquement scientifique est envisagée dans la Partie 7, également expérimentale.

Des **propositions pédagogiques** (partie 8), une **conclusion** et des perspectives closent ce travail (Partie 9), que documentent plusieurs annexes techniques.

6. L’expression est empruntée à Catherine De Lavergne : « La Posture du praticien-chercheur : un analyseur de l’évolution de la recherche qualitative », in *Recherches Qualitatives*, Hors série n°3 du juin 2007. Accessible en ligne sur le site de la revue (consulté sept. 2014) : http://www.recherche-qualitative.qc.ca/revue/hors_serie/hors_serie_v3/Delavergne-FINAL2.pdf

Sommaire

1. INTRODUCTION	5
SOMMAIRE	9
2. ETAT DES LIEUX ET GENERALITES	13
2.1. Une représentation de la science problématique	15
2.2. Quelques définitions et outils théoriques	20
2.2.1. Théorie des trois mondes et subjectivités collectives	20
2.2.2. Langage et apprentissage dans la théorie des trois mondes	35
2.2.3. Conceptions initiales et obstacles épistémologiques	41
2.2.4. Représentations, modèles et théories physiques	46
2.2.5. Observations et expériences	69
2.2.6. Représentations de mondes imaginaires	74
2.3. Eléments de scientificité	78
2.3.1. Synthèse du corpus historique et épistémologique	78
2.3.2. Science de l'arrière et pratiques sociales de référence	93
2.3.3. Nature de la science à l'école primaire	98
2.4. Approches de la démarche d'investigation à l'école	119
2.4.1. Une idée limpide	120
2.4.2. Diversité des approches théoriques	124
2.4.3. La D.I. dans les programmes de l'école primaire	129
2.4.4. Démarche d'investigation <i>vs.</i> pédagogie frontale	136
2.4.5. Une mise en place difficile	139
2.5. La question de la science à l'école maternelle	142
2.5.1. Des compétences aux contours flous	142
2.5.2. "Découvrir le monde"	146
3. PROBLEMATIQUE	151
4. METHODOLOGIE	157
4.1. Méthodologie théorique	159
4.1.1. Identification d'un ensemble d'éléments de scientificité	160
4.1.2. Organisation d'un ensemble de contraintes	163
4.1.3. Constitution et test d'un jeu de critères de scientificité	164
4.2 Méthodologie expérimentale	165
4.2.1. Publics adultes	165
4.2.2. Elèves	191
4.2.3. Limites et discussion	201
5. CRITERES DE SCIENTIFICITE ET SCIENCE SCOLAIRE	205
5.1. Des critères de scientificité pour la science scolaire ?	207
5.1.1. Définition & emploi	208
5.1.2. Un contexte scolaire favorable	209

5.2. Identification et organisation	210
5.2.1. Identification des éléments de scientificité	210
5.2.2. Identification de critères adaptés à l'école	226
5.3. Un ensemble de critères de scientificité pour l'école primaire	233
5.3.1. Méthodologie scientifique	233
5.3.2. Expérience / Observation	239
5.3.3. Discours	252
5.3.4. Argumentation et théorisation	260
5.4. Capacité discriminante	269
5.4.1. Toute investigation est-elle scientifique ?	269
5.4.2. Peut-on récuser une revendication de scientificité ?	276
5.4.3. Scientificité de discours en rapport avec la science	284
5.4.4. Retour sur la notion de CS	290
5.4.5. Des jeux de critères discriminants pour l'école primaire	295
5.5. Pertinence des CS à l'école	300
5.5.1. Recouvrement avec les programmes	300
5.5.2. Compatibilité avec la démarche d'investigation	307
5.6. Définitions <i>bottom-up</i> de la science scolaire	316
5.6.1. Construction des définitions	316
5.6.2. Conséquences didactiques	319
5.7. Implications épistémologiques et stratégiques	324
5.7.1. La science scolaire comme culture savante	324
5.7.2. Scientificité des pratiques vs. scientificité des connaissances	334
5.7.3. Approche <i>top-down</i>	339
5.7.4. Approche <i>bottom-up</i> de la nature de la science	345
 6. APPROPRIATION DE CRITERES DE SCIENTIFICITE PAR LES ENSEIGNANTS ET FUTURS ENSEIGNANTS DE PRIMAIRE	 349
6.1. Impact de la DI sur le rapport à l'expérience	351
6.1.1. Statut de l'expérience en DI	351
6.1.2. Evolution du rapport à l'expérience	353
6.2. Représentations spontanées de la science chez les enseignants	365
6.2.1. Profils épistémologiques	365
6.2.2. Critères de scientificité spontanés	381
6.2.3. Bilan : Une représentation de la science peu discriminante	399
6.3. Impact d'une DI "simple" sur l'expression de CS	401
6.3.1. Expression spontanée de CS	401
6.3.2. Expression spontanée d'éléments de scientificité	403
6.3.3. Expression sollicitée de CS et d'éléments de scientificité	405
6.4. Impact d'une DI enrichie sur l'expression de CS	415
6.4.1. Enrichissement métacognitif	415
6.4.2. Enrichissement méthodologique	423
6.4.3. Synthèse	435
6.5. Appropriation de critères de scientificité explicites	437
6.5.1. Modalités de mise en œuvre	437

6.5.2. Réception de l'outil "critères de scientificité"	439
6.5.3. Appropriation de critères de scientificité : premiers résultats	444
6.6. Synthèse et perspectives	447
7. UNE SCIENCE POUR LES PETITS ?	449
7.1. Premiers contacts avec la méthode expérimentale en GS	451
7.1.1. Pré-requis	451
7.1.2. Questions posées et typologie des réponses	454
7.1.3. Pratiques expérimentales en GS	461
7.1.4. Quelques éléments de scientificité accessibles en GS	475
7.1.5. Autres éléments de scientificité	481
7.1.6. Signification et limite de la "science" expérimentale en GS	482
7.2. Navigation entre fiction et monde physique	483
7.2.1. La fiction, un outil précieux à la maternelle	483
7.2.2. Un cas d'école (Maternelle), <i>Plouf !</i>	485
7.2.3. Observation de pratiques de classe	492
7.2.4. Entretiens différés	494
7.3. Une première approche de la modélisation scientifique	502
7.3.1. Un enjeu majeur au collège	502
7.3.2. Trois compétences méthodologiques fondamentales	503
7.3.3. La modélisation à l'école primaire	504
7.4. Retours d'enseignants de maternelle	510
7.4.1. Hiérarchisation spontanée des éléments de scientificité	510
7.4.2. Perception de l'utilité des éléments de scientificité	512
7.4.3. Perception par les enseignants de petite section	515
7.5. Définitions spontanées de la science chez les élèves de cycle 2 et 3	516
7.5.1. Une corrélation faible entre science et méthodologie	518
7.5.2. Une appropriation très majoritaire de la primauté de l'expérience	519
7.5.3. Une image des sciences très majoritairement positive	522
7.5.4. Evolution des catégories dominantes dans le temps	523
7.5.5. Représentation de la science en fonction du niveau de classe	527
7.5.6. Effet du jardin des sciences sur les réponses des élèves	532
7.5.7. Des représentations de la science en construction	536
8. PROPOSITIONS CURRICULAIRES	537
9. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	545
TABLE DES MATIERES	559
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

Partie 2

État des lieux et généralités

2.1. Une représentation de la science problématique

« Après près de cinquante années de recherche sur les représentations des enseignants et des élèves sur la nature de la science, un certain nombre de généralisations peuvent être posées :

- Les élèves de niveau K-12 (Terminale) ne possèdent pas en général une représentation "adéquate" de la nature de la science
- Leurs professeurs de sciences ne possèdent pas en général une représentation "adéquate" de la nature de la science. »

N.G. Lederman, 2007¹

Dans un ouvrage récent, l'épistémologue William Wismsatt propose de « *reconstruire la philosophie pour des être humains limités* », ² au premier rang desquels il place les scientifiques eux-mêmes. Mon expérience quotidienne de formatrice en sciences à l'IUFM/ESPE de Nice me suggère que sa démarche pourrait également être utile aux enseignants du primaire, du moins pour ce qui relève de l'épistémologie.

En effet, enseigner les sciences aujourd'hui, c'est non seulement transmettre des contenus scientifiques aux élèves, mais aussi mener des « investigations » scientifiques.³ Parmi les compétences variées requises pour une telle approche,⁴ une compréhension minimale du fonctionnement de la science paraît indispensable.⁵ Or celle-ci semble bien loin d'être évidente pour tous. Se surajoutant à un défaut fréquent de formation scientifique initiale,^{6,7} ce défaut de représentation de la nature de la science pourrait être l'un des mécanismes limitant l'implication des enseignants du primaire dans l'enseignement des sciences à ce niveau, à la limite parfois de l'autocensure.

1. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future » in S.K. Abell and N.G. Lederman (dir), *Handbook of Research on Science Education*, Lawrence Erlbaum éd., U.S.A., 2007, pp. 831-880.

2. William C. Wimsatt, *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*, Harvard Univ. Press, Cambridge, U.S.A., 2007, p. 5.

3. Selon les programmes officiels de l'école primaire. *Bulletin Officiel* n°1 du 5 janvier 2012, NOR MENE1131499A, pp. 6 & 17.

4. Une revue de littérature récente, s'appuyant sur différentes définitions proposées aux Pays-Bas et aux U.S.A. pour la démarche d'investigation, n'identifie ainsi pas moins de 22 compétences nécessaires aux enseignants du primaire pour mener à bien une démarche d'investigation. Ester Alake-Tuenter, Harm J.A. Biemans, Hilde Tobi, Arjen E.J. Wals, Ida Oosterheert & Martin Mulder, « Inquiry-Based Science Education Competencies of Primary School Teachers : A literature study and critical review of the American National Science Education Standards ». *International Journal of Science Education*, 2012, vol. 34(17), pp. 2609-2640. DOI 10.1080/09500693.2012.669076

5. Le consensus semble établi aujourd'hui sur ce pré-requis (e.g. « *To teach science effectively a teacher needs a clear notion of the nature of the subject - of the distinctive qualities that separate science from other subject domains.* » I.A.P. (2009) *Teacher Professional Development in Pre-Secondary School Inquiry-Based Science Education (IBSE)*. op. cit. p. 19). C'est par ailleurs une recommandation de l'OCDE : *Pisa 2009 Assessment Framework – Key Competencies In Reading, Mathematics And Science*, OECD, 2009, pp. 14 et 126. Disponible sur le site de l'OCDE : www.oecd.org/pisa/pisaproducts/44455820.pdf (consulté août 2014).

6. Il ne suffit pas d'améliorer les connaissances scientifiques des enseignants pour qu'ils se lancent dans l'enseignement des sciences. Ce constat conduit par exemple Ken Appleton à conclure : « *There may be key, fundamental misconceptions held by some elementary teachers, characteristic of a lack of understanding of foundational ideas in science, that particularly affect their self-efficacy.* » Ken Appleton, « Elementary Science Teaching », in *Handbook of Research on Science Education*, op. cit., p. 497.

7. Voir aussi Ken Appleton, « Student Teachers Confidence to Teach Science : Is more science knowledge necessary to improve self-confidence? ». *International Journal of Science Education*, 1995, vol. 17 (3), pp. 357-369.

Les formateurs en sciences français s'accordent en effet à penser que de très nombreux enseignants du primaire font un "blocage" sur l'enseignement des sciences.⁸ En 2010, Jean Salençon, alors Président de l'Académie des Sciences, se désolait que près de la moitié des enseignants de cycle 3 s'estiment incompetents pour enseigner les sciences.⁹ Dans les Alpes-Maritimes, tous cycles confondus, on peut estimer à 80% la part des enseignants du primaire qui ne se considèrent pas suffisamment compétents lorsqu'il s'agit d'enseigner les sciences¹⁰.

Un paysage longtemps mal connu

Peu d'informations statistiques sont disponibles pour étayer ces intuitions.¹¹ La principale étude française s'appuie sur des données recueillies auprès de 120 futurs enseignants français du primaire et 171 du secondaire. Les différences entre les futurs enseignants du primaire de formation généralement non-scientifique et ceux du secondaire sont « minimales » et les deux populations y apparaissent porteuses d'un « patchwork d'épistémologies, au sein duquel le statut des connaissances scientifiques n'est pas bien défini car elles sont à la fois vraies, objectives, prouvées, subjectives et évolutives » ce qui en fait un « mélange non réfléchi et donc peu cohérent d'idées ».¹²

La question de la compréhension¹³ de la nature de la science (*Nature of Science*, ou NoS) est en revanche une thématique majeure de la didactique des sciences anglo-saxonne. Depuis plus de cinquante ans, des études sondent en particulier les représentations de la science des élèves américains et de leurs enseignants. Régulièrement, elles concluent à des inadéquations entre une représentation souhaitée et celle constatée.

Les études se sont longtemps focalisées essentiellement sur les professeurs de science, les élèves des niveaux collège et lycée, ainsi que les étudiants de l'université. Une revue de littérature de 1992 ayant longtemps fait autorité ne citait que deux études s'intéressant aux enseignants du primaire.¹⁴ Une bibliographie de 2001

8. Ce constat, qui n'est pas propre à la France, a fait l'objet d'études à l'étranger. Voir à ce propos la revue de littérature présentée par Ken Appleton, « Elementary Science Teaching ». *Handbook of Research on Science Education*, op. cit., pp. 496-497.

9. Jean Salençon, Allocution d'introduction du colloque « Cultiver la science. La formation continue des professeurs enseignant les sciences », Paris, avril 2010.

10. C'est ce qui ressort d'un sondage réalisé auprès de 165 d'entre eux au cours de formations. Sondage réalisé par le praticien-chercheur au cours duquel il leur était demandé de se positionner sur une échelle graduée de 1 à 10, 1 signifiant "je ne me sens pas du tout capable d'enseigner les sciences" et 10 "je suis tout à fait à l'aise". 80% s'attribuent une note entre 1 et 5, certains sortant même de l'échelle pour proposer des nombres négatifs.

11. En 2011, après une recherche exhaustive de données portant sur les représentations de la science d'enseignants français, Lionel Pélissier n'identifie pas de travaux similaires aux études anglo-saxonnes. Lionel Pélissier, *Etude de pratiques d'enseignement de savoirs de l'épistémologie en classe de physique de lycée général*, Thèse de doctorat, Université de Toulouse 2 Le Mirail, 2011.

12. Ezio Roletto, « La Science et les connaissances scientifiques : points de vue de futurs enseignants » in *Aster*, 1998, n°26, pp. 11-30. Une enquête est actuellement en cours à l'Institut Français de l'Éducation : http://ife.ens-lyon.fr/enquetes/sciences_ecole (consulté août 2014).

13. On rencontre dans la littérature les deux expressions de *understanding* et de *view of the Nature of Science*.

14. Norman G. Lederman, « Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research », *Journal of Research in Science Teaching*, 1992, vol. 29, pp. 331-359.

n'évoquait que dix articles s'intéressant aux représentations des enseignants du primaire, sur plus de deux cents¹⁵.

Une représentation des sciences par les enseignants globalement non satisfaisante

Dans une deuxième revue de littérature de 2007, N.G. Lederman constate la convergence de nombreuses études réalisées avec des outils méthodologiques variés et n'hésite plus à conclure que « *la compréhension des enseignants et des élèves s'est avérée systématiquement insuffisante* ». ¹⁶ Il précise par ailleurs que « *les enseignants en science ne possèdent pas de représentations adéquates de la nature de la science, indépendamment de l'outil utilisé pour évaluer leur compréhension* ». ^{17,18}

La première étude intéressant le primaire remonte à 1970 et portait sur 35 futurs enseignants dans le secondaire et 221 dans le primaire.¹⁹ R.L. Carey et N.G. Stauss y montraient déjà que les représentations de la science de ces futurs enseignants ne sont corrélées ni à leur niveau d'étude, ni à leurs résultats dans les disciplines scientifiques académiques.²⁰ La seconde, due à J.W. Bloom²¹ en 1989, montrait que pour une grande partie des 80 futurs enseignants dans le primaire interrogés, l'objectif premier de la science était d'améliorer les conditions de vie de l'humanité. Par ailleurs, pour ces enseignants, les théories scientifiques étaient disjointes des observations et pouvaient varier selon les idées personnelles de chacun.

La généralisation aux Etats-Unis²² et dans le monde entier de la démarche d'investigation à l'école a récemment suscité un regain d'intérêt pour les représentations de la science par les enseignants du primaire. Entre 1999 et 2012, on compte 14 études portant sur les représentations de la science chez les enseignants du primaire, impliquant 515 enseignants dont 202 en poste et 313 futurs enseignants en formation initiale (*Addendum 2.a*).

Toutes concluent que les enseignants du primaire ont une vision "non adéquate" ou confuse de ce qu'est la science. Elles suggèrent par ailleurs qu'il n'est pas facile de modifier ces conceptions.

15. R. L. Bell, F. Abd-El-Khalick, N.G. Lederman, W.F. McComas, & M. Matthews, « The nature of science and science education : A bibliography ». *Science & Education*, 2001, vol. 10, pp. 187–204.

16. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future » in *Handbook of Research on Science Education*, op. cit., p. 861.

17. *Idem*, p. 852. La liste qu'il établit des différents tests utilisés depuis 1954 révèle qu'au fil du temps et des études, les présupposés des chercheurs ont varié.

18. Voir également Xiufeng Liu, « Developing Measurement Instruments for Science Education Research » in B. J. Fraser et al. (éd.), *Second International Handbook of Science Education*, Springer International Handbook of Education 24, 2012, pp. 651–665.

19. R. L. Carey, N. G. Stauss, « An Analysis of Experienced Science Teachers' Understanding of the Nature of Science », *School Science and Mathematics*, 1970, vol. 70, pp. 366–376.

20. Lederman arrive à la même conclusion : « *les représentations de la nature de la science des enseignants ne sont pas significativement associées à leur niveau d'études* ». Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », op. cit., p. 852.

21. J. W. Bloom, « Preservice Elementary Teachers Conceptions of Science : Science, Theories and Evolution », *International Journal of Science Education*, 1989, vol. 11, p. 401–415.

22. National Research Council. *National Science Education Standards*. National Committee on Science Education Standards and Assessment. Washington, DC : National Academy Press, 1996.

Plus précisément :

- 13 études sur 14 évaluent l'impact d'un type de formation donné sur les représentations des enseignants considérés. Formation implicite ou explicite au NoS, couplage avec une formation à la métacognition, à la démarche d'investigation, à la modélisation, à l'évaluation, formation dite réflexive-explicite, mise en contact régulier avec un formateur spécialiste des questions NoS : toutes permettent d'améliorer les représentations des enseignants. Les résultats sont néanmoins meilleurs lorsque la formation au NoS est explicite.
- Toutes s'appuient sur des formations longues (comparées aux formations françaises typiques). Il s'agit essentiellement de blocs de 48h dédiés aux "méthodes scientifiques élémentaires" (*elementary science methods course*)²³ pour ce qui est de la formation initiale des futurs enseignants. Les programmes de formation continue contiennent environ 130h de formation réparties sur un à trois ans.²⁴
- 11 études ont été réalisées par des groupes de chercheurs incluant Valarie L. Akerson. Elles portent sur 272 enseignants américains. Une douzième porte sur 22 enseignants en formation continue et utilise une méthodologie proche des 11 premières (test VNOS). Les deux dernières utilisent une méthodologie distincte et portent sur respectivement 148 et 73 futurs enseignants (resp. irlandais et australiens).
- Une seule étude s'intéresse à l'effet à long terme sur 19 futurs enseignants d'une formation réflexive-explicite. Après une amélioration de leurs représentations, la moitié d'entre eux reviennent 5 mois après les cours à leurs représentations initiales.

Représentation des sciences par les élèves du primaire

Il paraîtrait surprenant que des élèves de primaire aient une représentation plus claire de ce qu'est la science que leurs enseignants. Très peu d'études sont toutefois disponibles sur la question. « *Nous n'avons pas été en mesure de trouver la moindre étude au niveau des classes élémentaires inférieures* », constatait même en 2005 une revue assez exhaustive de la littérature disponible²⁵ ; la même n'identifiait que deux articles portant sur des élèves entre 11 et 12 ans (*grade 6*), et aucun en-deçà.

Depuis, à notre connaissance, seules cinq nouvelles études sont parues, d'ampleur assez limitée, sur les représentations d'élèves plus jeunes : quatre américaines (Akerson^{26, 27, 28, 29}) et l'autre irlandaise (Murphy³⁰, 104 élèves entre 8 et 11 ans). Elles

23. À ces cours de méthodologie s'ajoutent par ailleurs des cours portant plus précisément sur les contenus scientifiques pour les futurs enseignants du primaire.

24. Ils incluent le plus souvent quinze jours de cours intensif pris sur les vacances des enseignants et un atelier de 3 à 4h par mois sur le reste de l'année.

25. V. Akerson & F. Abd-El-Khalick, « How should I know what scientists do? — I'm just a kid » : Fourth-Grade Students' Conceptions of Nature of Science ». *Journal of Elementary Science Education*, 2005, vol.17 (1), pp. 1-11.

26. V. Akerson & L. A. Donelli. « Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain? ». *International Journal of Science Education*, 2009, vol. 32 (1), pp. 97-124. Cette étude porte sur 9 élèves de CP, 8 de CE1 et 1 de GS.

27. V. Akerson et M. L. Volrich. « Teaching nature of science explicitly in a first grade internship

constatent que les jeunes élèves n'ont pas une représentation adéquate de ce qu'est la science.

Enfin, une revue de littérature³¹ de 2007 portant sur la compréhension de la science chez de très jeunes élèves indique qu'on peut s'attendre à une très grande dispersion des réponses chez les jeunes enfants, en fonction en particulier de leur vécu personnel (visite dans des musées, dessins animés, parents scientifiques ou non etc.). En l'absence d'étude sur la question, ils font part des réponses d'élèves de CP (K-1) de la classe d'une praticienne-chercheuse, Gertrude Henessy, à la question « *C'est quoi la science pour toi ?* » : « *apprendre sur des choses, sur le corps humain, apprendre et écouter, s'amuser et apprendre comment c'était avant* ». Les auteurs en concluent que les jeunes élèves ont dans l'idée que la science implique d'apprendre de nouvelles choses bien qu'il n'ont pas encore beaucoup d'idées sur ce qui distingue la science d'autres moyens d'accès au savoir.

Il apparaît donc que ni les enseignants du primaire, ni leurs élèves ne disposent malheureusement, d'une manière générale, de représentations satisfaisantes de ce qu'est la science.

setting ». *Journal of Research in Science Teaching*, 2006, vol. 43(4), pp. 377–394. Cette étude porte sur 14 élèves de CP.

28. C. Quigley, K. Pongsanon et V. L. Akerson. « If we teach them, they can learn : Young students' views of nature of science during an informal science education program ». *Journal of Science Teacher Education*, 2011, vol. 22 (2), pp. 129–149. Cette étude porte sur 5 GS, 8 CP et 6 CE1.

29. Valarie L. Akerson, Gayle A. Buck, Lisa A. Donnelly, Vanashri Nargund-Joshi et Ingrid S. Weiland. « The Importance of Teaching and Learning Nature of Science in the Early Childhood Years ». *Journal of Science Education Technology*, 2011, vol. 20 (5), pp. 537–549. Cette étude porte sur 24 CE1 ainsi que sur les mêmes élèves que dans l'étude « Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain? ».

30. Cliona Murphy, Colette Murphy & Paula Kilfeather. Children making sense of science. *Research in Science Education*, 2011, vol. 41, pp. 283–298. DOI 10.1007/s11165-010-9165-6

31. Collectif, *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Richard A. Duschl, Heidi A. Schweingruber, and Andrew W. Shouse, Editors. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. The National Academies Press, U.S.A., 2007, p. 81.

2.2. Quelques définitions et outils théoriques

2.2.1. THEORIE DES TROIS MONDES ET SUBJECTIVITES COLLECTIVES

2.1.1. Le monde physique et ses représentations

Nous assumerons dans ce travail une posture heuristique réaliste et empiriste,³² c'est à dire que nous admettrons l'existence d'une réalité physique indépendante du sujet qui l'observe et à propos de laquelle il est possible de bâtir des consensus, *mais* dont on ne peut avoir qu'une connaissance limitée et dont les origines ne nous sont pas plus accessibles que le réel en soi³³.

Il va de soi que cette posture n'a aucune vocation à s'appliquer naïvement à toutes les situations et à toutes les problématiques scientifiques, hors du cadre scolaire. Ainsi la question de l'existence d'une réalité objective indépendante de l'observateur devrait-elle être traitée avec beaucoup plus de précaution si l'on devait prendre en compte les idées quantiques apparues dans la première moitié du XX^e siècle. De même il ne s'agit pas de contester *a priori* la possibilité d'autres voies d'accès à la connaissance de l'entière du monde³⁴ et de ses origines. Toutefois de telles réserves n'ont pas lieu de s'appliquer à l'école primaire.

2.1.1.1. Une approche réaliste et empiriste

Si nous ne pouvons pas être sûrs de l'existence indépendante des objets, nous serons laissés seuls dans un désert — il se peut que la totalité du monde externe ne soit rien d'autre qu'un rêve, et que nous seuls existions. C'est une possibilité inconfortable ; mais, bien que l'on ne puisse strictement prouver qu'elle est fausse, il n'y a pas la plus légère raison de supposer qu'elle soit vraie.

Bertrand Russell, *Les Problèmes de la philosophie*³⁵

La question de la réalité du monde sensible est aussi ancienne que la philosophie. Mais c'est René Descartes qui la place à la racine même de la méthode scientifique. En effet, il s'impose de :

Ne recevoir aucune chose pour vraie, qu'[il] ne la connusse évidemment pour tel : c'est à dire d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention ; et de ne comprendre rien de plus en [ses] jugements que ce qui se présenterait si clairement et distinctement à [son] esprit, qu'[il] n'eusse aucune occasion de la mettre en doute.³⁶

32. Le terme est ici employé dans le sens traditionnel où l'on considère que notre connaissance du monde dérive de l'expérience sensible, en faisant en particulier l'économie des spéculations sur des questions sans réponse possible dans le contexte expérimental et théorique considéré. La philosophie des sciences anglo-saxonne désigne un tel « principe d'économie » sous le nom de « rasoir d'Ockham ».

33. La notion d'objet « en soi », de « noumène » (par opposition au « phénomène » qui apparaît au sujet) est au cœur du « réalisme empirique » kantien (Emmanuel Kant, *Critique de la raison pure*, 1781). Comme lui, nous adoptons une définition négative de l'empirisme, par exclusion *a priori* de ce qui n'est pas accessible au sujet. Soulignons toutefois que notre emploi du terme "empirique" est, ici, délibérément, plus exclusif (donc plus étroit) que celui de Kant.

34. En effet, dans cette acception, une approche holiste de la connaissance du monde ne saurait être empirique ; pour autant, on peut revendiquer l'accès à celle-ci par des voies mystiques, par exemple.

35. Bertrand Russell, *Les Problèmes de la philosophie* (*The Problems of Philosophy*, 1912), éd. Payot, 2005.

36. René Descartes, *Discours de la Méthode*, 1637, éd. Gallimard Flammarion, 2000, p. 49.

Or ce “doute hyperbolique” fondateur ne l’autorise à valider *a priori* qu’une certitude : « *Je pense, donc je suis.* » J’existe, en tant que *sujet*. En revanche, le témoignage de mes sens n’est pas recevable *a priori*, dans la mesure où je pourrais être en train de le rêver³⁷ : « *il n’y a point d’indices concluants, ni de marques assez certaines par où l’on puisse distinguer nettement la veille d’avec le sommeil* »³⁸. Pire : je ne suis pas à l’abri d’un malin génie, « *non moins rusé et trompeur que puissant qui a employé toute son industrie à [me] tromper* »³⁹. La seule existence dont Descartes puisse être absolument certain est la sienne propre.

Un détour par la théologie lui permet d’évacuer le paradoxe en “démontrant”⁴⁰ l’existence d’un Dieu parfait, donc bienveillant : « *de ce que Dieu n’est point trompeur, il suit nécessairement que je ne suis point en cela trompé* »⁴¹.

Si l’on refuse un tel argument théologique, et plus généralement toute pétition de principe, la possibilité d’un malin génie reste en toute rigueur irréfutable,⁴² aussi paranoïaque et improbable qu’elle puisse paraître.

Pour échapper au solipsisme, avant de pouvoir envisager un regard scientifique sur le monde, il faut donc *parier* sur son existence. Dans l’esprit de ce pari cartésien, *nous poserons donc arbitrairement en principe (métaphysique) l’existence d’une réalité physique indépendante du sujet qui l’envisage.*

Dans le même esprit, nous admettrons l’existence et la réalité *d’un grand nombre de sujets distincts*, capables de se reconnaître mutuellement pour tels, et de communiquer entre eux.

Possibilité d’énoncés objectifs sur la réalité physique

Nous admettrons qu’il est possible de construire des énoncés objectifs à propos de cette réalité physique indépendante du sujet. Par « énoncé objectif », nous entendons ici un énoncé dont, d’une part, la vérité⁴³ ne dépend pas des sentiments, des opinions, des idées ou des intuitions du sujet ; et d’autre part dont la vérité est la même quel que soit le sujet.

Inversement, nous qualifierons de « subjectif » un énoncé qui dépend des sentiments, des opinions, des idées ou des intuitions du sujet. Enfin, pour être

37. L’argument du rêveur est classique. Dans le *Théétète*, Platon nous décrit Socrate s’en amusant déjà.

38. « *Je vois qu’il n’y a point d’indices concluants, ni de marques assez certaines par où l’on puisse distinguer nettement la veille d’avec le sommeil, que j’en suis tout étonné ; et mon étonnement est tel, qu’il est presque capable de me persuader que je dors.* » ; R. Descartes, « Première méditation », *Méditations métaphysiques* (1641), in *Œuvres et Lettres*, Bibliothèque de La Pléiade, éd. Gallimard, 1996, p. 269.

39. *idem*, p. 272.

40. La démonstration des *Méditations métaphysiques* est soit ironique, soit fautive (Descartes y glissant subrepticement du concept de *réalité* à celui de *perfection*).

41. René Descartes, « Première méditation », *Méditations métaphysiques*, op. cit., p. 334.

42. Le malin génie a bien sûr connu des incarnations plus modernes. Ainsi, le philosophe Hilary Putnam imagine-t-il un cerveau humain placé dans une cuve et alimenté par de pseudo-influx nerveux simulés par un ordinateur, “malin génie” *high tech* (H. Putnam, *Raison, Vérité et Histoire ; Reason, Truth, and History*, 1981). L’expérience de pensée de Putnam dérive d’une thématique science-fictionnelle classique, en particulier dans la littérature paranoïaque de Philip K. Dick ou de Stanislas Lem. En 1941, un autre auteur de science-fiction, Robert Heinlein, met en scène une variation sur le thème d’un personnage qui ne peut décider s’il est un psychopathe paranoïaque ou un dieu contraint à se croire un homme [« Ces gens-là » (« They », 1941) ; in *Une Histoire de la science-fiction*, t.2, dir. J. Sadoul, Librio, 2000, pp. 65-81].

43. C’est à dire le fait d’être vrai, ou bien le fait d’être faux.

systématique, nous qualifierons de « personnel » un énoncé (subjectif ou non) dont la vérité varie en fonction du sujet⁴⁴.

D'autre part, nous ne préjugeons pas ici des contraintes qui peuvent peser sur une telle construction d'énoncé — triviale dans une posture de réalisme naïf, mais hautement technique, par exemple, dans un cadre quantique orthodoxe, où les seuls énoncés objectifs portent sur des résultats de mesure, pour des observables elles-mêmes dûment définies *via* une théorie de la mesure sophistiquée. Soulignons toutefois qu'une condition nécessaire de la possibilité de construire des énoncés objectifs est l'existence d'un langage opératoire, qu'il soit naturel ou formel.

La possibilité d'énoncés objectifs n'est sans doute pas démontrable *a priori*. On pourrait en effet imaginer des univers dans lesquels il est impossible d'en construire.⁴⁵ Toutefois, aucune science (du moins telle que nous la connaissons) n'y serait possible. L'existence de cette dernière, dans notre monde, vaut donc démonstration *a posteriori*.

Distinction entre le monde physique et ses représentations

Mais si notre vue s'arrête là, que l'imagination passe outre ; elle se lassera plutôt de concevoir, que la nature de fournir.

Blaise Pascal, « Les Deux infinis »⁴⁶

Tous les énoncés ne portent pas sur le monde physique. Certains énoncés sont purement esthétiques, pour le seul plaisir des mots. D'autres portent sur des mondes imaginaires, sans rapport avec le monde physique : on parle alors d'énoncés *fictionnels*⁴⁷.

Même lorsqu'il porte sur le monde physique, ou plus précisément lorsqu'il décrit un phénomène particulier du monde physique, un énoncé ne saurait être confondu avec ce phénomène dont, selon la belle analogie d'Alfred Korzybski, il ne constitue au mieux qu'une "carte"⁴⁸ :

1. Une carte n'est pas le territoire (*les mots ne sont pas les choses qu'ils représentent*)
2. Une carte ne couvre pas tout le territoire
(*les mots ne peuvent pas recouvrir tout ce qu'ils représentent*)
3. Une carte est auto-référente (*le langage nous permet de parler du langage*)

Plus généralement, toute représentation du monde, de quelque type qu'elle soit (images, schémas, représentations textuelles, verbales, mathématisées, etc.) doit être distinguée de ce qu'elle représente. En effet, même si elle a un référent dans

44. En physique classique, il n'est *a priori* pas possible de construire un énoncé à la fois personnel, non subjectif, univoque et bien formulé à propos du monde physique. Mais certaines interprétations extrêmes de la mécanique quantique peuvent en admettre la possibilité. De même, de tels énoncés sont fréquents à propos de certains univers fictionnels, comme ceux de Lewis Carroll, démiurge logicien.

45. Il s'agirait alors d'une "non-science fiction", pour reprendre l'expression de Quentin Meillassoux, in « Métaphysique et fiction des mondes hors-science », Le Mois de la science-fiction à l'ENS, ENS Ulm, 18 mai 2006. Accessible sur le site : www.diffusion.ens.fr/index.php?res=conf&idconf=1286 (consulté août 2014).

46. Blaise Pascal, « Disproportion de l'homme », in *Pensées*, 1670, Brunschvicg 72.

47. Nous employons le terme dans un sens plus restreint que le sens courant de "produit de l'imagination", dans lequel on pourrait considérer, très généralement, que tout modèle est une fiction.

48. Alfred Korzybski, « The Role of Language in the Perceptual Processes », in *Science & Sanity. An Introduction to Non-Aristotelician Systems and General Semantics*, 1933 ; éd. IGS, 1994 ; 3^e éd., 1948.

le monde physique externe, la représentation relève proprement du *sujet*.

Au-delà de cette distinction d'ordre métaphysique, il n'est généralement pas possible d'établir une correspondance terme à terme entre une représentation de la réalité physique et les éléments du phénomène qu'elle décrit. Une démonstration classique confronte la finitude de l'esprit humain, et donc des représentations qu'il peut produire, et l'infinie complexité du monde physique. Ainsi, Pascal voulait-il « *faire voir un abîme nouveau, (...) une infinité d'univers* » dans la plus infime partie d'un minuscule ciron.⁴⁹

D'autre part, différents énoncés peuvent avoir des degrés de généralité très variables. Ainsi, un énoncé objectif rendant compte d'une observation particulière à un instant et dans des conditions données n'a *aucune généralité*, quand un autre peut valoir à différents moments (e.g. "le Soleil se lève à l'est"), voire revendiquer une vocation universelle ($\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$).

Inversement, le monde physique ne connaît que des réalisations particulières : il est ce qu'il est, à un moment donné.⁵⁰ Même s'il est possible d'énoncer des généralités à son propos, une "généralisation du monde physique" est une contradiction dans les termes.

La possibilité même d'une représentation opératoire du monde, et *a fortiori* d'une modélisation scientifique, passe donc par une renonciation à l'ambition naïve de le penser intégralement, et par l'acceptation de n'en manipuler que des représentations très simplifiées.

Origine des représentations

Une autre difficulté concerne l'origine de telles représentations, et plus généralement de toute pensée créatrice. Nous admettons dans ce travail que les représentations du monde sont créées par des sujets, sans intervention de demiurges ou d'inspireurs surnaturels.⁵¹

Ce choix ne fait bien sûr que renvoyer la difficulté aux mystères de la vie et de la pensée elles-mêmes. Au risque du réductionnisme, nous conjecturons donc avec Karl Popper que l'univers physique est, en en sens, "créatif" :

Je conjecture que la vie, et par la suite également l'esprit, ont évolué ou émergé d'un univers qui était, jusqu'à un certain moment, dépourvu de vie et d'esprit. D'une manière ou d'une autre, la vie, ou la matière vivante, ont émergé de la matière inerte ; et il ne semble pas complètement impossible que nous comprenions un jour comment ceci est advenu. Les choses apparaissent bien plus difficiles en ce qui concerne l'émergence de l'esprit. [...] Je pense que nous devons admettre que l'univers est créatif, ou inventif. En tout état de cause, il est au moins créatif au sens où le sont les grands poètes, les grands artistes et les grands scientifiques.⁵²

49. Blaise Pascal, « Disproportion de l'homme », in *Pensées*, 1670, Brunschvicg 72.

50. Ou, selon la formule stoïcienne classique « Ce qui est, est ; ce qui n'est pas, n'est pas ».

51. Dans la tradition grecque, depuis Hésiode, les poètes et les créateurs humains ne sont que les instruments des Muses.

52. « I conjecture that life, and later also mind, have evolved or emerged in a universe that was, up to a certain time, lifeless and mindless. Life, or living matter, somehow emerged from nonliving matter ; and it does not seem completely impossible that we shall one day know how this happened. Things look far more difficult with the emergence of mind. [...] I think we have to admit that the universe is creative, or inventive. At any rate, it is creative in the sense in which great poets, great artists, and great scientists are creative. » Karl R. Popper, « Natural selection and the

Dans le même esprit, nous admettrons également que *l'apparition et l'évolution de représentations de plus en plus sophistiquées est un processus naturel, spontané ou stimulé, qui peut être décrit théoriquement en termes d'épistémologie évolutionniste. L'analogie avec la théorie darwinienne de l'évolution remonte à L'Analyse des sensations, d'Ernst Mach.*⁵³ Donald Campbell identifie ainsi trois mécanismes généraux à l'œuvre dans tout processus d'acquisition de connaissances, qu'il désigne par l'acronyme BVSR : un mécanisme de génération de "variations aveugles" (*blind variation*, BV), permettant d'explorer le plus de représentations possible, un mécanisme de "rétention sélective" (*selective retention*, S) pour choisir les plus pertinentes, dans un contexte donné et un mécanisme de reproduction des variations sélectionnées (*reproduction*, R).⁵⁴

Le caractère "aveugle" des variations n'est pas nécessairement associé à un aspect aléatoire, au sens mathématique du terme. Il s'assimile plutôt parfois à « *la situation proverbiale de l'aveugle qui cherche dans une salle obscure un chapeau noir qui ne s'y trouve peut-être pas* »,⁵⁵ mais qui, pour autant, dans un souci d'efficacité, peut procéder avec méthode, par essais et erreurs. La rétention sélective se décompose quant à elle en une fonction de mémorisation (rétention) et une fonction de sélection des éléments à mémoriser.

Cette approche théorique de l'évolution des connaissances nous paraît particulièrement bien adaptée à une analyse de la démarche d'investigation, où les différents mécanismes BV, S, & R sont relativement faciles à identifier. Elle met en outre l'accent sur l'importance d'une *sélection* des conceptions, au cœur de toute approche constructiviste.

Une approche alternative consiste à considérer la possibilité de l'émergence, au sens que les philosophes donnent à ce terme,⁵⁶ de nouvelles représentations transcendant celles de chaque individu à partir de la complexité née des interactions entre un grand nombre de sujets. Là encore, on peut se contenter d'une démonstration *a posteriori*, par l'évidence de l'existence de la science, et plus généralement de la culture, qu'on peut considérer comme constituées à partir de telles représentations méta-subjectives stables.

emergence of mind » (1977) in *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the sociology of Knowledge*, dir. Gerard Radnitzky & W. W. Bartley, III, éd. Open Court, 1993, p. 150.

53. « [L'économie de la pensée en tant que tâche essentielle de la science] acquiert un fondement plus large et s'éclaire de perspectives nouvelles, dès lors que, suivant les impulsions données par la théorie de Darwin, on considère l'ensemble de la vie psychique — la science y compris —, comme une manifestation biologique, et dès lors qu'on applique les conceptions darwiniennes de la lutte pour l'existence, de l'évolution et de la sélection. » Ernst Mach, *L'Analyse des sensations* (*Analyse der Empfindungen*, 1900) ; éd. Jacqueline Chambond, 1996, p. 49.

54. Donald T. Campbell, « Blind Variation and Selective Retention in Creative Thought as in Other Knowledge Processes » (1960) in *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the sociology of Knowledge*, op. cit., 1993, pp. 91–114.

55. Karl R. Popper, « Campbell on the Evolutionary Theory of Knowledge » (1974), *idem*, p. 117. Popper poursuit : « Bien que l'aveugle à la recherche d'un chapeau noir puisse introduire de l'ordre dans ses essais, cet ordre ne lui est pas donné ; il peut commencer par choisir ou inventer un ordre (une méthode), et en changer ensuite ; et ces choix seront eux-mêmes des essais, quoique d'ordre supérieur. »

56. « Le problème philosophique de l'émergence n'est pas le problème (théologique) de la création au sens fort du terme (création ex nihilo, création de la *materia prima*). Mais c'est tout de même un problème de création, au sens faible (non pas « à partir de rien » mais « à partir de peu »), ou, pour le dire autrement, un problème de « création continuée ». Comment le plus sort-il du moins ? une cellule vivante, de la matière brute ? un cerveau pensant, d'une petite masse de cellules embryonnaires ? Y a-t-il authentique création de formes (organisation), ou dévoilement de potentialités cachées ? ». Anne Fagot-Largeault, « L'Émergence », in Daniel Andler, Anne Fagot-Largeault et Bertrand Saint-Sernin, *Philosophie des sciences* t. II, col. Folio/Essais, éd. Gallimard, 2002, pp. 945–946.

2.1.1.2. Théorie poppérienne des trois mondes

Si on appelle le monde des « choses », des objets physiques le premier monde, et celui des expériences subjectives, telles que les mécanismes de la pensée, le deuxième monde, on appellera le monde des énoncés en soi le *troisième monde*. (Je préfère aujourd'hui appeler ces trois mondes « monde 1 », « monde 2 », « monde 3 »... ; Frege appelle quelquefois ce dernier le troisième royaume). /.../ Mais quoique l'on puisse penser du statut de ces trois mondes, il me paraît essentiel de commencer par les distinguer aussi nettement et clairement que possible.

Karl Popper, *La Quête inachevée*⁵⁷

Philosophe d'origine autrichienne, Karl Popper (1902—1994) est l'une des figures majeures de l'épistémologie du XX^e siècle. Volontiers paradoxal — pour lui, la controverse est féconde —, assumant une multitude d'approches,^{58,59} il n'hésite pas à proposer des outils conceptuels concrets pour résoudre les difficultés épistémologiques, voire proprement scientifiques,⁶⁰ de la science du XX^e siècle. L'un des plus connus est sans aucun doute son test de réfutabilité des théories scientifiques,⁶¹ qui a donné lieu à des polémiques fructueuses, en particulier avec certains de ses anciens élèves comme Imre Lakatos et Paul Feyerabend,⁶² quant à la généralité de leur application à tous les modes de recherche scientifique. Mais, pour Popper, la philosophie n'est pas l'affaire des seuls philosophes et ces outils sont aussi destinés aux praticiens, de la recherche aussi bien que, pourquoi pas, de la didactique ou de la pédagogie^{63,64} :

Qu'une image [métaphysique] mérite qu'on la considère dépend, suggérerais-je, de sa capacité à provoquer la critique rationnelle, et à inspirer des tentatives pour la remplacer par quelque chose de meilleur (plutôt que de sa capacité à créer une mode, à être supplantée bientôt par une nouvelle mode, ou de ses prétentions à l'originalité ou à l'irrévocabilité).⁶⁵

57. Karl Popper, *La Quête inachevée* (*Unended quest*, 1986), coll. Agora, éd. Pocket, 1989, p. 255.

58. « Il n'existe pas de système poppérien, et l'auteur de *La Logique de la découverte scientifique* n'a nullement cherché à en construire un. (...) Il paraîtra comme dans l'ordre du possible qu'avec la diversité des interrogations et des champs d'étude, les solutions présentées ici ou là soient fort éloignées les unes des autres, et puissent même n'être pas concordantes entre elles. C'est à ce niveau que nous rencontrons le constat frappant : les solutions évoquées par Popper ont un air de famille. (...) Un problème hante l'épistémologie poppérienne (...) il s'agit du problème de l'objectivité. » Emmanuel Malolo Dissaké, « Audi alteram partem », préface à K. Popper, *La Théorie quantique et le schisme en physique* (*The Postscript to the Logic of Scientific Discovery* III. *Quantum Theory and the Schism in Physics*, 1982), Hermann, 1996, p. ix.

59. ... en théorie du moins. Après Feyerabend, Anne Fagot-Largeault persifle ainsi sur « la tendance à se croire infaillible du théoricien du faillibilisme » ; A. Fagot-Largeault, « L'Émergence », in *Philosophie des sciences* t. I, op. cit., p. 185.

60. « J'admire tous ceux qui ont la capacité d'aider dans la grande tâche de la découverte. Mais je ne suis pas impressionné par le spécialiste — l'expert — en tant que tel. Nous ne devons pas nous permettre d'être renversés par des formules imposantes : cela est le chemin de la perte. » K. Popper, « Amende honorable pour avoir entretenu une controverse », in *La Théorie quantique et le schisme en physique*, op. cit. p. 155.

61. K. Popper, *La Logique de la découverte scientifique* (*The Logic of Scientific Discovery*, 1934), éd. Payot, 2007.

62. P. Feyerabend, *Contre la méthode* (*Against Method*, 1975), éd. Seuil, 1988.

63. Philippe Dessus s'est par exemple penché sur « trois types d'application possibles de cette théorie dans le champ de l'éducation : en quoi elle permet de reconsidérer l'apprentissage en activité de construction de connaissances ; en quoi elle précise ce qu'est l'activité de compréhension, et enfin quel peut être son rôle au sein d'une méthode de conception de séquences d'enseignement ». Ph. Dessus, « La Théorie de la connaissance de Popper », *Penser l'Éducation*, vol. 21, 2007, pp. 19–31.

64. Voir également Carl Bereiter, *Education and Mind in the Knowledge Age*, éd. Lawrence Erlbaum Associates, 2002.

65. K. Popper, *La Théorie quantique et le schisme en physique*, op. cit., p. 208.

C'est en particulier le cas de sa théorie des trois mondes. Pour souligner la « quasi-autonomie » des productions culturelles, Popper propose de distinguer trois mondes. Plus précisément :

Monde 1 : « Par « Monde 1 », j'entends ce qui, d'habitude, est appelé le monde de la physique, des pierres, des arbres et des champs physiques des forces. J'entends également y inclure les mondes de la chimie et de la biologie ».

Monde 2 : « Par « Monde 2 » j'entends le monde psychologique, qui d'habitude, est étudié par les psychologues d'animaux aussi bien que par ceux qui s'occupent des hommes, c'est-à-dire le monde des sentiments, de la crainte et de l'espoir, des dispositions à agir et de toutes sortes d'expériences subjectives, y compris les expériences subconscientes et inconscientes.

Monde 3 : « Par « Monde 3 », j'entends le monde des productions de l'esprit humain. Quoique j'y inclue les œuvres d'art ainsi que les valeurs éthiques et les institutions sociales (et donc, autant dire les sociétés), je me limiterai en grande partie au monde des bibliothèques scientifiques, des livres, des problèmes scientifiques et des théories, y compris les fausses ».⁶⁶

Le Monde 1 de Popper correspond à ce que nous avons appelé *réalité physique externe*, c'est-à-dire au monde physique. Le Monde 2 relève du *sujet* et lui est propre. Le Monde 3 de Popper est plus général que celui que nous considérerons : nous nous limitons ici à sa composante scientifique.

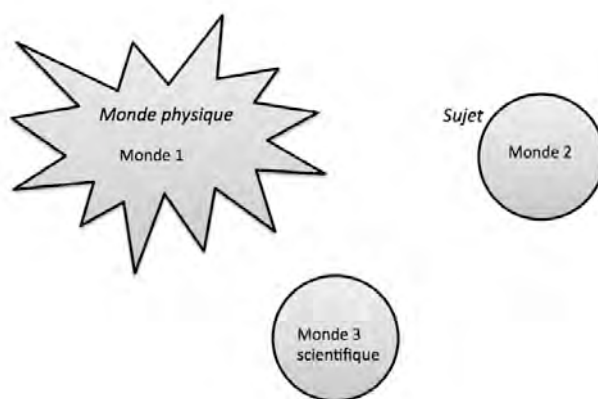


Figure 2.3.1. : Schéma de la disjonction entre Mondes 1, 2 & 3

2.1.1.3. Habitants du Monde 1 et du Monde 2

Différents types « d'habitants »⁶⁷ peuplent les trois mondes de Popper. Certains sont d'un grand intérêt pour l'enseignement des sciences, d'autres moins. Cette sous-section répertorie ceux des Mondes 1 et 2 sans prétendre à l'exhaustivité.

66. Karl R. Popper, *L'Univers irrésolu, plaidoyer pour l'indéterminisme* (*The Postscript to the Logic of Scientific Discovery II. The Open Universe*, 1982), édition Hermann, 1984, p. 94.

67. Nous parlerons indifféremment « d'habitants » pour désigner les éléments de nature variée relevant d'un monde donné.

Monde 1

Le plus intuitif des trois mondes poppériens est le Monde 1, qui s'identifie directement au monde physique. L'indication de Popper qu'il entend également « *y inclure les mondes de la chimie et de la biologie* » souligne que ce "monde de la physique" ne doit pas être entendu dans un sens réductionniste, mais au contraire au sens le plus large. Parmi les habitants du Monde 1 qui intéressent l'enseignement des sciences, on trouve en particulier :

- les objets physiques, du plus petit aux corps célestes
- les corps physiques (*soma*) des individus (y compris les récepteurs des cinq sens, yeux, oreilles, etc.)
- les événements (nous nommons événement quelque chose qui se passe à un endroit et à un moment donné ; par exemple, le fait qu'un enfant d'une classe donnée ait retourné un sablier et vu le sable tomber)
- les grandeurs physiques (i.e. les propriétés quantifiables d'un objet, comme sa longueur ; les propriétés de l'espace et du temps, etc.)
- etc.

Monde 2

Le Monde 2, « *le monde psychologique* », est, lui, spécifique à chaque individu. Parmi ses habitants, on trouve :

- les perceptions
- les intuitions
- les conceptions⁶⁸
- les lois, théories, concepts, etc., *tels qu'appropriés par le sujet*.

Mais aussi :

- les préjugés
- les émotions (e.g. le plaisir à expérimenter)
- les motivations et les « *dispositions à agir* »
- des « *expériences subjectives, y compris les expériences subconscientes et inconscientes* »

qui peuvent également jouer un rôle essentiel dans les processus d'apprentissage⁶⁹.

2.1.2. De la subjectivité collective au monde 3

Le périmètre du Monde 3, par essence collectif, s'avère plus difficile à circonscrire que ceux des Mondes 1 & 2. Y inclure « *autant dire les sociétés* »,

68. Le contour de cette notion, dans un contexte de didactique des sciences, est discuté dans la section suivante.

69. Il existe en conséquence un nombre considérable de théories didactiques développées pour rendre compte du processus d'apprentissage, avec des emprunts plus ou moins marqués à la réflexion épistémologique, à la psychologie, à la sociologie. Voir par exemple « Des modèles pour comprendre l'apprendre : de l'empirisme au modèle allostérique », Francine Pellaud, Richard-Emmanuel Eastes et André Giordan, *Gymnasium Helveticum*, mai 2004.

comme s'y autorise Popper, pour mieux « *se limiter au monde (...) des problèmes scientifiques et des théories* » suppose une vision d'ensemble des « *productions de l'esprit humain* » hors de portée des "êtres limités" (au sens de Wimsatt) que nous sommes, comme la plupart des enseignants et des élèves.

Nous nous attacherons donc d'abord à une construction plus systématique de la notion "d'objet culturel", habitant du Monde 3, *via* celles de "subjectivité collective" et de "culture savante". Ce détour épistémologique nous permettra de mettre en lumière les choix arbitraires intervenant dans la détermination du périmètre du Monde 3 — ou plutôt, comme on le verra, *des Mondes 3*, respectivement, de la science des scientifiques et de la science scolaire.

2.1.2.1. Groupes sociaux et subjectivités collectives

Nous définirons d'abord, suivant le lexique de Gérard Klein, un *groupe social* comme un ensemble de sujets individuels partageant « *la perception d'une expérience à quelque degré semblable, et transmissible d'un élément à l'autre* »⁷⁰.

Soulignons que l'existence d'un groupe social est, en quelque sorte, le plus petit dénominateur commun de toute collectivité. Elle n'implique aucunement l'établissement effectif d'une communication entre plusieurs sujets, mais seulement la *possibilité* pour eux de se transmettre mutuellement des éléments de leurs perceptions respectives d'un référent commun dans le monde physique.

Un exemple de groupe social est une collection d'individus réunis par hasard dans une rame de métro particulière. D'intérêt culturel limité, il s'agit en outre d'une entité éphémère, dans la mesure où leur expérience commune s'effacera bientôt de leurs mémoires, rendant toute transmission impossible (notons que l'ensemble des individus ayant un jour pris le métro à l'heure de pointe constitue un autre groupe social, bien plus étendu et plus robuste).

Un autre exemple, moins anecdotique, est celui du groupe social des enseignants s'imposant un autotatouage⁷¹ "nul en sciences", qu'ils en aient ou non jamais parlé à des collègues ou des formateurs.

Le niveau suivant de collectivité humaine, à peine moins informel, apparaît lorsque se produit effectivement, au sein d'un groupe social, une communication réussie à propos de l'expérience partagée par ses membres. On peut alors parler d'intersubjectivité ou plus précisément, toujours dans le lexique de Klein, de *subjectivité collective* (S.C.).^{72, 73}

70. « *Par groupe social, j'entends un ensemble défini par la perception d'une expérience à quelque degré semblable, et transmissible d'un élément à l'autre, l'ayant tous deux éprouvée, à travers le temps et l'espace, par un langage. [...] Le groupe social n'implique pas que cette communication ait lieu mais qu'elle soit possible.* » Gérard Klein in *Trames et Moirés*, 1986, éd. Somnium, 2009, p. 22.

71. Nous empruntons l'expression à Daniel Tron, in « *Do you grok english ?* », *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*, dir. Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle, éd. Somnium, 2013, p. 285.

72. La réflexion de Klein ne porte pas seulement sur les connaissances objectives, mais également sur des savoirs inconscients. Il questionne en particulier la littérature et montre, en s'appuyant sur l'exemple de H.P. Lovecraft, qu'un auteur communique parfois « *quelque chose qu'il n'aurait pas pu dire autrement, parce qu'il ne le savait pas autrement* » (*Trames & Moirés*, op. cit., p. 19) — une idée nouvelle, jusque-là informulée, et qui d'ailleurs ne sera véritablement élucidée que bien plus tard, et par d'autres. É. Picholle, « *Histoires de transmissions* », Préface à *Trames & Moirés*, op. cit., p. 12.

L'existence d'une subjectivité collective est une condition nécessaire (quoique non suffisante) du partage d'une représentation personnelle d'un individu à un autre, et donc de la création de toute représentation partagée.

De nouveau, la plupart des subjectivités collectives sont éphémères. Ainsi, celle que partagent des individus qui discutent dans la salle d'attente d'un dentiste. D'autres en revanche sont robustes et perdurent au cours du temps, parfois sur de nombreuses générations. Cette notion de robustesse est relativement arbitraire : les subjectivités collectives robustes considérées par un historien auront des temps caractéristiques plus longs que celles du sociologue. Notons qu'un même individu participe, à un moment donné, (ou « est traversé par ») de nombreuses subjectivités collectives.

2.1.2.2. Objets culturels et culture savante : une approche constructiviste

Objet culturel

Gérard Klein précise que « *une subjectivité collective n'est pas empiriquement observable ou plutôt, elle n'est observable qu'au travers des discours au sens le plus général, et en particulier des œuvres et de leurs effets* », ⁷⁴ lorsqu'elle est assez puissante pour en produire. Une subjectivité collective robuste peut en effet maintenir une représentation partagée assez stable pour perdurer dans le temps et l'espace. Il y a alors création ou appropriation possible de productions qui "dépassent" l'individu, et en particulier leur créateur initial. La subjectivité collective dont participent les zoroastriens de Yazd en Iran en est un exemple, non langagier : ils entretiennent dans leur temple un feu qui ne cesse de brûler depuis plus d'un millénaire. D'autres exemples peuvent être des concepts abstraits, comme le principe d'inertie de Galilée, une œuvre littéraire classique (e.g. *À la recherche du temps perdu*), une partition de musique, etc. Nous qualifierons ces productions d'*objets culturels*.

Notons que cette définition, *via* les subjectivités collectives, suppose une communication réussie entre le créateur d'un objet culturel et ses utilisateurs (entre l'auteur d'un livre et ses lecteurs, par exemple), et donc qu'un manuscrit littéraire strictement inédit ou un résultat de recherche non publié ne constituent pas, *a priori*, des objets culturels. D'autre part, elle suppose également une forme de rétention sélective : une production non retenue, c'est-à-dire cessant de fournir matière à communication au sein d'une subjectivité collective donnée, cesse aussi de se qualifier comme objet culturel pour cette S.C. particulière.

Un objet culturel est créé par une subjectivité collective, mais n'en relève pas *stricto sensu*, sauf comme objet de communication. Lorsqu'un objet culturel dispose d'un support matériel, comme un livre, il est assez facile de le distinguer de ses représentations dans l'esprit de sujets comme l'auteur et ses lecteurs. L'existence d'un tel support n'est toutefois pas une condition nécessaire. Une idée ou un concept peuvent se qualifier comme objets culturels, et être également considérés en tant que tels, indépendamment des

73. Le terme de "subjectivité collective" se rencontre également, dans un sens un peu différent, chez Félix Guattari. Voir par exemple Jean-Luc Gautero, « Note sur les subjectivité(s) collective(s) chez Klein et chez Guattari », in *Les Subjectivités collectives*, dir. U. Bellagamba, É. Picholle & D. Tron, éd. Somnium, 2012, pp. 84–87.

74. Gérard Klein in *Trames et Moirés*, 1986, op. cit., p. 52.

sujets qui les pensent. En revanche, dans ce cas, le processus d'objectification est presque inévitablement lié au langage. Il y a, souligne Popper, « *un monde de différence entre croire quelque chose, ou attendre quelque chose, et employer le langage humain pour le dire. La différence est qu'une croyance ne devient critiquable que si elle a été exprimée, et donc objectivée. Je peux faire un avec ma croyance : elle participe de mes actes, de mon comportement. Une fois formulée, elle peut être critiquée et trouvée erronée, auquel cas je peux devenir capable de m'en débarrasser.* »⁷⁵

Certains objets culturels peuvent se propager d'une façon comparable à celle d'un virus et "recruter" très rapidement de nombreux individus dans la S.C. qui leur a donné naissance : c'était typiquement le cas de la « danse des canards » qui se transmettait et se reproduisait par imitation *via* la télévision et la radio ; ou aujourd'hui des « *cat smiles* » sur internet. On parle souvent de mèmes⁷⁶ à propos de ce type d'objets culturels virulents.

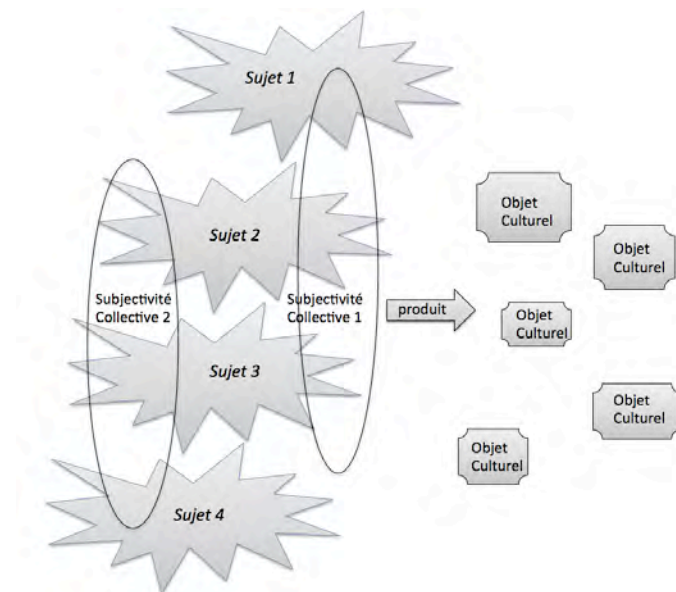


Figure 2.1.2.2.a. : Tentative de schématisation des relations entre objets culturels, sujets et subjectivités collectives

Cultures communes

Nous désignerons sous le terme de *culture commune* l'ensemble des objets culturels susceptibles de fournir matière à communication au sein d'une subjectivité collective robuste donnée.⁷⁷

Cette définition ne préjuge ni du nombre d'individus participant de la subjectivité collective considérée, ni des qualités des objets culturels qui la constituent, que ce soit du point de vue artistique, économique, etc. Ainsi, on peut définir des micro-cultures communes à quelques individus seulement, et dont les éléments sont des plaisanteries faciles (les "*private jokes*" échangées au sein d'une cellule familiale, constitutive d'une S.C. potentiellement robuste sur des décennies) ou au contraire des équations sophistiquées (pour la S.C. dont participent les rares spécialistes d'un sujet hautement technique) ; ou encore

75. Karl R. Popper, « Campbell on the Evolutionary Theory of Knowledge » 1974, op.cit., p. 120.

76. Le terme de "mème" a été introduit par Richard Dawkins dans *Le Gène égoïste* (*The Selfish Gene*, 1976), éd. Odile Jacob, 2003.

77. On aurait pu procéder à l'inverse et définir la S.C. réunissant les individus susceptibles de communiquer à propos des objets d'une culture commune donnée.

des macro-cultures communes à des millions, voire des milliards d'individus (e.g. la culture française, la culture chrétienne).

Il est important de noter que, dans cette définition, une culture commune constitue un “monde” distinct du monde physique, mais aussi distinct des sujets participants de la subjectivité collective dont elle dérive. Elle est peuplée d'objets culturels, qui doivent eux-même être distingués de leurs supports physiques, mais aussi de la conception qu'en ont les sujets individuels (la *Recherche du temps perdu* n'étant réductible ni à l'objet-livre de nos bibliothèques, ni à ma lecture particulière de cette œuvre, ni même à celle de Marcel Proust).

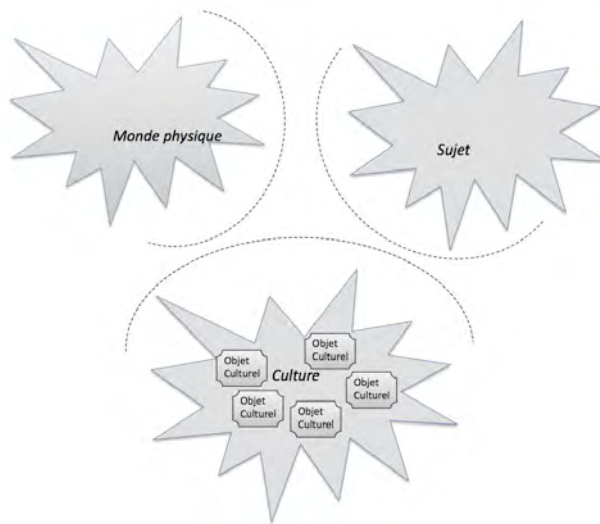


Figure 2.1.2.2.b. : Schéma de la disjonction entre monde physique, sujet & culture

Cultures savantes

Enfin, nous définirons comme *culture savante* une culture commune 1/ reposant sur une subjectivité collective explicitement identifiée et revendiquée⁷⁸ (e.g. les amateurs de musique classique ou de science-fiction, les botanistes, les astrologues) et 2/ dont les objets culturels constitutifs répondent à des règles de sélection opératoires et consensuelles.

Soulignons que cette définition ne requiert pas de règles de sélection explicites des objets culturels. Dans bien des cas — et en particulier celui de la culture scientifique — l'explicitation de telles règles constitue une entreprise difficile, et elle-même rarement consensuelle.

Un risque est alors de s'appuyer sur des procédures de sélection autoréférentes, voire circulaires : tel élément se qualifie comme objet culturel de la culture savante X, parce qu'il émane de la communauté Y, elle-même constituée des soi-disant connaisseurs de la culture savante X. C'est en particulier un débat permanent en philosophie de l'art, la valeur artistique d'une œuvre étant assez strictement déterminée par la “communauté artistique” institutionnalisée, culture savante s'il en est — et souvent augmentée

78. Quoique en général pas sous cette appellation technique. Il suffit qu'un groupe dispose de signes de reconnaissance (e.g. un jargon commun) et de réseaux de communication spécifiques (e.g. des journaux spécialisés, etc.).

après la disparition de son auteur — au point, constate par exemple Fred Forest, que « *le travail de l'artiste s'effectue désormais sur les procédures* »⁷⁹. Inversement, des communautés artistiques “sauvages”, comme celle de la science-fiction, aboutissent souvent à des règles de sélection peu opératoires, comme la pirouette de Norman Spinrad, qui présidait la Société des écrivains américains de science-fiction (SFWA) : « *la science-fiction, c'est toute chose publiée sous le label science-fiction* »⁸⁰ — et ne se qualifient alors pas comme cultures savantes, au contraire par exemple de “l'art contemporain”.

Nous nous en tiendrons toutefois aux aspects épistémologiques de la question, et n'approfondirons pas plus avant les difficultés d'ordre sociologique liées à l'identification des communautés savantes.⁸¹ Nous admettrons en particulier qu'il existe une “communauté scientifique” stable et bien identifiable.

Approche constructiviste vs. néo-platonisme

Cette approche de la culture scientifique comme culture savante elle même construite à partir d'interactions entre individus nous a amenés à distinguer les représentations individuelles, proprement subjectives (au sens où elles ressortent du sujet), des représentations indépendantes de l'individu et sur lesquelles un consensus peut s'établir entre différents sujets. Elle présente l'avantage de pouvoir s'appliquer à tout type de production culturelle scientifique ou non (et donc à tout type de science).

Il convient toutefois de noter que certains types d'objets culturels, tout particulièrement dans le domaine des mathématiques (e.g. : le nombre 3), peuvent suggérer l'idée d'une existence “objective”, indépendante de toute construction humaine. Pour avoir des bases métaphysiques différentes, cette forme de platonisme logiciste⁸² n'en aboutit pas moins au même résultat qui nous importe ici, à savoir l'existence d'un troisième “monde”, disjoint aussi bien du monde physique que des sujets, et que Gottlob Frege (1848—1925) appelle le « *troisième royaume* » :

A l'inverse des représentations, les pensées n'appartiennent pas à l'esprit individuel (elles ne sont pas subjectives), mais elles sont au contraire indépendantes de l'activité de pensée, et se tiennent de la même manière (objectivement) en face de chacun ; elles ne sont pas produites par l'activité de pensée, mais seulement saisies par elles. En ce sens, elles sont semblables aux corps physiques.⁸³

79. « *A partir du moment où il est admis que c'est dans l'échange que se constitue l'œuvre, il faut bien reconnaître que le travail de l'artiste s'effectue désormais sur les procédures, plus que sur la manipulation ou la transformation, à proprement parler, du matériau.* » ; Fred Forest, « Pour qui sonne le glas, ou les impostures de l'art contemporain », *Quaderni*, 21, 1993, p. 132. En ligne :

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/quad_0987-1381_1993_num_21_1_1044?Prescripts_Search_tabs1=standard& (consulté août 2014).

80. « *J'ai défini quelque part la science-fiction comme toute chose publiée sous le label science-fiction, une remarque quelque peu cynique, bien que fondée d'un point de vue technique* » ; N. Spinrad, in *L'Effet science-fiction : à la recherche d'une définition*, dir. I. et G. Bogdanoff, Robert Laffont, Ailleurs & Demain 1979, p. 305.

81. Un tel travail a été entrepris par Ludwik Fleck (1896-1961), dont le texte majeur, *Genèse et développement d'un fait scientifique*, qui a inspiré Thomas Kuhn, n'a été traduit en français qu'en 2005 (Les Belles lettres éd., trad. N. Jas). Fleck y développe en particulier le concept de « collectif de pensée », que nous nous permettrons d'identifier, un peu rapidement sans doute, à celui de subjectivité collective robuste. Voir par exemple Jean-Luc Gautero, « Subjectivités collectives et collectifs de pensée », in *Les Subjectivités collectives*, op. cit., pp. 163-176.

82. Voir par exemple Xavier Sabatier, *Les Formes du réalisme mathématique*, Vrin, coll. Mathésis, 2009.

83. G. Frege, *Ecrits posthumes*, Jacqueline Chambon éd., 1994, p. 175.

Les tenants de cette approche néo-platonicienne, souvent associée, dans sa forme moderne, au mathématicien et philosophe Bernard Bolzano (1781—1848), fondent la science sur des bases logiques, à partir de telles “pensées objectives” et la définissent comme « *la collection de toutes les vérités d’une certaine espèce* »⁸⁴. Là encore, si l’interprétation ontologique est différente, il n’y a pas d’incompatibilité fondamentale entre une telle définition et celle d’une “culture savante scientifique” conçue comme une collection d’objets culturels d’une certaine espèce.

2.1.2.3. Culture savante scientifique et monde 3 scientifique

Nous admettons qu’il est possible d’identifier une “communauté scientifique”. Elle est alors constitutive d’une *subjectivité collective* stable et robuste, dont dérive donc par construction une *culture savante* scientifique munie de règles de sélection opératoires et consensuelles (au sein de cette communauté) des objets culturels qui la composent. Cette culture savante constitue un ensemble disjoint du monde physique comme des *sujets*, i.e. des membres de cette communauté scientifique, mais aussi, *a fortiori*, de tout individu intéressé à la science d’une manière ou d’une autre, comme les élèves des écoles et leurs maîtres.

De cette vaste et multiforme culture savante scientifique, dont il serait vain de tenter de préciser les contours en quelques lignes, seule une faible partie “institutionnelle” concerne, en tant que tel, l’enseignant en sciences, celui « *des bibliothèques scientifiques, des livres, des problèmes scientifiques et des théories* »⁸⁵.

Nous limiterons donc notre propos à cette sous-partie de la culture scientifique globale que, dans l’esprit de la distinction proposée par Karl Popper qui définit le monde 3 comme celui, très largement, des « *productions de l’esprit humain* », y compris les œuvres d’art, les sociétés, etc., nous désignerons comme le « monde 3 scientifique ».

Habitants du monde 3 scientifique

Il est clair que toute personne intéressée par la science s’intéresse aux objets du monde 3. Au départ, un physicien peut s’intéresser essentiellement aux objets du monde 1, aux cristaux, par exemple aux rayons X. Mais, très vite, il va s’apercevoir qu’énormément de choses dépendent de notre interprétation des faits, c’est à dire de nos théories, et donc des objets du monde 3.

Karl Popper⁸⁶

L’enseignant en sciences est plus particulièrement intéressé des objets comme :

- les concepts scientifiques (e.g. : les notions de force, d’accélération)
- les lois
- les principes
- les modèles
- les théories

84. Bernard Bolzano, *Théorie de la science* (*Wissenschaftlehre*, 1837) ; Gallimard, 2011.

85. Karl R. Popper, *L’Univers irrésolu, plaidoyer pour l’indéterminisme*. op. cit., p. 94.

86. Karl Popper, *La Quête inachevée*. op.cit., p. 257.

- leurs interprétations scientifiques (e.g. : l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique, mais aussi celle des univers multiples d'Everett)
- les outils mathématiques
- les manuels
- les tables de données et de procédures admises (e.g. les "*handbooks*")
- etc.

Notons que si tous les habitants du monde 3 satisfont aux règles de sélection propres à la culture savante scientifique, par construction, tous n'y ont pas nécessairement la même importance, voire la même légitimité. Une théorie très générale, comme la mécanique newtonienne, y occupe une place plus éminente qu'un modèle *ad hoc* d'un phénomène peu connu ; ou une théorie couramment utilisée qu'une théorie démodée, même formellement équivalente.

Jean-Marc Lévy-Leblond insiste sur l'importance de la coexistence de points de vue scientifiques différents, qu'il appelle *noodiversité*⁸⁷ :

Pour les physiciens de ma génération, élevés dans l'idée que seule la physique subnucléaire ou l'astrophysique étaient des sujets à la fois d'intérêt et de prestige, ce fut une surprise extraordinaire que d'assister à la reviviscence d'une science considérée il y a encore peu de temps comme une science du XIX^e siècle, complètement désuète – je pense ici à la mécanique des fluides et plus généralement à la dynamique non linéaire, certainement aujourd'hui l'un des domaines de la physique les plus actifs et les plus intéressants. Or, et c'est là le point sur lequel je veux insister, nous avons dû redécouvrir des développements scientifiques datant de près d'un siècle et que nous avions oubliés ; nous avons ainsi été obligés d'aller relire des textes de Poincaré, par exemple, qui ne faisaient absolument plus partie de notre bagage professionnel.⁸⁸

Popper va plus loin en soulignant que l'appartenance au monde 3 n'est pas directement liée à la validité d'un élément donné : ainsi, toutes les théories scientifiquement recevables y ont leur place, « *y compris les fausses* ».

Inversement, toute théorie, même valide, ne se qualifie pas automatiquement comme habitant du monde 3 scientifique ; ainsi, les productions intellectuelles d'un soi-disant génie isolé dans sa tour d'ivoire, d'un "savant fou", ou d'un groupe exclu de la communauté scientifique, quelles que soient ses prétentions à la scientificité (e.g. : la scientologie^{89,90}).

Notons que, si le monde 3 scientifique est unique dans le cadre d'une culture scientifique donnée et bien identifiée (et qu'on peut sans doute aujourd'hui considérer comme mondiale), il n'est pas nécessairement universel (e.g., à la Renaissance, le "monde 3" associé à la culture chinoise n'a pas grand chose à voir avec celui de l'Europe occidentale).⁹¹

87. Néologisme proposé lors du colloque « Mécanique quantique & philosophie », Nice, déc. 2007.

88. Jean-Marc Lévy-Leblond, « (Re)mettre la science en culture : de la crise épistémologique à l'exigence éthique », *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°56, 2008.

89. Eric Picholle, « La Sémantique générale, rêve ou cauchemar ? » in *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*, op. cit., pp. 173–191.

90. En toute rigueur, si la scientologie n'appartient pas au monde 3 scientifique, elle n'en constitue pas moins une "construction de l'esprit humain", au sens de Popper.

91. Si l'on considère en revanche l'ensemble des productions de l'esprit humain, les sciences chinoise et européenne constituent à la Renaissance deux régions différentes (et mutuellement inaccessibles) d'un même monde 3 global.

Inversement, le monde 3 pertinent pour la culture scientifique d'un enfant est celui dérivé de la culture scientifique de sa société et de son temps, même s'il est trop jeune pour s'en être encore approprié aucun élément.

2.2.2. LANGAGE ET APPRENTISSAGE DANS LA THEORIE DES TROIS MONDES

2.2.1. Langage commun et encyclopédie personnelle

La "communication réussie" à la base de certaines subjectivités collectives éphémères peut être non verbale. Ainsi, une personne qui, dans la rue, tire quelqu'un par la manche pour l'avertir d'un danger quelconque crée de ce fait entre eux, sans un mot, au-delà d'un simple groupe social, une authentique S.C. Du point de vue linguistique, la communication ainsi établie est de type "ostensif-inférentiel", l'individu ainsi alerté tentant alors spontanément de comprendre l'intention communicative et informative de l'autre (dimension inférentielle).⁹²

Cette notion est héritée de Paul Grice qui, plus généralement, fait remarquer que le sens des énoncés ne peut pas être réduit à leur contenu linguistique mais doit être inféré⁹³. Il ajoute que certains énoncés disent davantage que les mots qui composent la phrase, ce qui est à la base de ce que les linguistes appellent la *pragmatique de la langue*⁹⁴.

Langages formels et langue idéale

Même les subjectivités collectives les plus robustes, qui reposent en général sur une langue commune laissent donc une place importante à l'interprétation. Cela reste le cas, quoique bien sûr dans une moindre mesure, lorsqu'elles s'appuient sur des langages très formels. Même lorsqu'il s'agit de logique mathématique, « toute interprétation du formalisme engage une conception de la logique et requiert des choix philosophiques ultimes sur le rôle de la connaissance et le statut de ses objets »⁹⁵.

Certains logiciens (et mathématiciens), comme Gottlob Frege, résolus à « nettement séparer le psychologique du logique, le subjectif de l'objectif »⁹⁶ ont bien tenté de développer des langages formels rendant parfaitement compte, au moins, des propositions recevables en termes de logique mathématique,⁹⁷ mais

92. Yves Bardière, « Approche linguistique, fictionnelle et didactique de la pragmatique », in *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*, dir. Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle, éd. Somnium, 2013, p. 214.

93. H. P. Grice, « Logic and Conversation », in *Syntax and Semantics 3 : Speech Acts*, dir. P. Cole & J.-L. Morgan, New York, Academic Press, 1975, pp. 41-58.

94. « Très schématiquement, la pragmatique concerne l'étude de l'usage du langage. Elle s'intéresse à l'énoncé. L'énoncé est la phrase enrichie des données contextuelles dans laquelle elle est produite, la phrase complétée par les informations fournies par la situation. C'est la raison pour laquelle la pragmatique est avant tout une théorie de la communication linguistique. Dans une situation de communication, les locuteurs n'échangent pas des phrases, ils échangent des énoncés. » Yves Bardière, « Approche linguistique, fictionnelle et didactique de la pragmatique », op. cit., p. 199.

95. Denis Vernant, « L'Interprétation du formalisme logique », in *Le Formalisme en question. Le tournant des années 30*, dir. F. Nef & D. Vernant, Vrin, 1998, p. 168. Vernant y analyse la spécificité des paradoxes sémantiques, dans l'exemple de la relecture des *Principia Mathematica* de Newton par F.P. Ramsey.

96. G. Frege, *Les Fondements de l'arithmétique* (*Die Grundlagen der Arithmetik*, 1884) ; Seuil, coll. L'Ordre philosophie, 1970. p. 122.

97. G. Frege, *Idéographie* (*Begriffsschrift*, 1879) ; Vrin, 2000.

leur démarche a abouti à une « contamination de l'arithmétique par les paradoxes du langage, avec en particulier la notion d'énoncé indécidable »⁹⁸.

Pour d'autres, une langue parfaite serait moins une construction formelle qu'un outil « idéalement adapté aux mécanismes cognitifs et à la physiologie de l'animal humain, et aux jeux de concepts dont il dispose, à une époque et dans une culture données »,⁹⁹ comme la "Sémantique Générale" que tente de développer Alfred Korzybski dans les années 1930.¹⁰⁰

L'une des préoccupations de Korzybski et, indépendamment, du Cercle de Vienne, était de forger une langue capable, en particulier, de lever les paradoxes nés de la transcription des idées quantiques en langage naturel. Nous n'entrerons pas ici dans ces débats hautement techniques,¹⁰¹ qui parcourent la philosophie du XX^e siècle et ont largement contribué à la naissance de la linguistique moderne — mais beaucoup moins à l'appropriation des idées quantiques en-dehors des cercles scientifiques spécialisés.

Encyclopédies

La question des langages formels ne se posant pas à l'école, nous nous en tiendrons donc au langage naturel, et même plus précisément au français¹⁰². Au-delà même des sens multiples que peut lui affecter le dictionnaire, « un nom met en œuvre chez un individu donné toute une constellation de noms, de définitions, d'évaluations etc., unique pour chaque individu, fonction de son environnement socio-culturel et linguistique et de son hérédité, en relation avec ses désirs, ses intérêts, ses besoins, etc. »¹⁰³ Un exemple classique est l'échange apparemment paradoxal :

[Contexte : Il est huit heures du soir, heure à laquelle les enfants de la famille M se couchent.]

Le père à son fils Axel : *Va te laver les dents.*

Axel à son père : *Je n'ai pas sommeil.*¹⁰⁴

Le fils ne répond pas au sens propre et explicite de la phrase « *va te laver les dents* », mais à l'injonction implicite qu'elle véhicule : « *va te coucher* ». Il y a une distance considérable entre ce qui est effectivement dit et ce qui est communiqué, et l'échange paraîtrait absurde à un étranger : pour saisir l'intention du père, le fils mobilise "toute une constellation" de savoirs conscients ou inconscients sur les habitudes de sa famille.

À chaque terme et à chaque concept correspond donc, un catalogue de circonstances où il est susceptible d'apparaître et un réseau de corrélations adapté à chacune de ces circonstances, qui lui permettent d'en inférer le sens contextuel. À la notion de *dictionnaire*, Umberto Eco préfère donc celle

98. Éric Picholle, « La Sémantique générale » in *Science-Fiction et didactique des langues*, op.cit., p. 174.

99. *Idem*, p. 177.

100. Alfred Korzybski, *Science & Sanity. An Introduction to Non-Aristotelician Systems and General Semantics*, 1933 ; éd. IGS, 1994 ; 3^e éd., 1948.

101. « *Sur ce dont on ne peut parler, il faut garder le silence* », comme le conclut un autre acteur majeur de ce débat, Ludwig Wittgenstein, au terme de son *Tractatus logico-philosophicus*, 1922 ; éd. Gallimard, 2011. p. 112.

102. Même si les questions de pragmatiques évoquées dans cette section se posent dans la plupart des langues, et ont été largement posées à propos de l'anglais (Grice) et de l'italien (Eco).

103. Alfred Korzybski, « Le rôle du langage dans les processus perceptuels » (« The role of langage in perceptual process », 1950 in *Perception : an approach to Personality*), in *Une carte n'est pas le territoire, Prolégomènes aux systèmes non-aristotéliens et à la sémantique générale*, éd. de l'Eclat, 1998. pp. 35–36.

104. Jacques Moeschler, « Pragmatique. État de l'art et perspectives », in *Marges Linguistiques* n°1, mai 2001, p. 5.

d'*encyclopédie* personnelle,¹⁰⁵ qui inclut ces différents éléments.

Chaque individu dispose de sa propre encyclopédie, liée à sa culture personnelle et à son expérience acquise, et par construction très différente de celle d'une autre personne, même à propos d'un même concept. L'existence d'une subjectivité collective à laquelle participent deux individus donnés rend toutefois possible le rapprochement de leurs encyclopédies respectives à propos des expériences partagées fondant ces S.C. Par construction, leur participation commune à une même culture savante garantit en principe l'adéquation de leurs encyclopédies, *dans ce contexte*, en ce qui concerne ses objets culturels.

Par ailleurs, une encyclopédie se modifie et s'enrichit en permanence, au fil des expériences nouvelles. C'est tout particulièrement vrai dans un contexte scolaire, où le sujet est en permanence confronté au problème de l'acquisition de connaissances nouvelles, voire parfois de concepts entièrement nouveaux pour lui, au point qu'on peut alors parler de *xéno-encyclopédie*,¹⁰⁶ c'est-à-dire d'une encyclopédie *a priori* étrangère, bâtie *ex nihilo*.

Enfin, la notion d'encyclopédie est très large et s'adapte sans difficulté à toutes les situations de communication coopérative, y compris formelle ou symbolique. Ainsi, « *un drapeau rouge peut être rencontré le long d'une ligne de chemin de fer ou dans le cadre d'un meeting politique ; un cheminot communiste regardera avec appréhension le premier cas, et avec confiance le second.* »¹⁰⁷

2.2.2. Éléments du monde 2 pertinents pour l'apprentissage

Au-delà de la théorie poppérienne, parmi les éléments du monde 2 pertinents pour l'enseignement des sciences, nous distinguerons trois types d'habitants :

- les habitants du monde 2 qui, comme les perceptions et certaines conceptions, ont un référent direct dans le monde 1. Nous désignerons par "*monde 2\1_s*" (indice s (ou sa, sb, etc) pour "sujet") la partie du monde 2 où résident ces habitants. Exemple : l'idée de pluie.
- les habitants du monde 2 qui ont un référent bien assuré dans le monde 3, comme une loi, une théorie, un concept, etc., tels qu'appropriés par le sujet. Nous désignerons par "*monde 2\3_s*" (indice s pour "sujet") la partie correspondante du monde 2. Exemple : le concept d'inertie.
- les habitants du monde 2 qui n'ont pas de référent clair hors de ce monde, comme les émotions, les processus de pensée, les concepts immatures.

105. Pour plus de précisions, voir Umberto Eco, *Sémiotique et philosophie du langage (Semiotica e filosofia del linguaggio)*, 1984) ; éd. PUF, coll. Quadrige, 2011. p. 75.

106. Au sens que Richard Saint-Gelais donne à ce terme. Richard Saint-Gelais, *L'Empire du pseudo : modernités de la science-fiction*, éd. Nota Bene, 2005.

107. Umberto Eco in *Lector in fabula. Le rôle du lecteur ou la coopération interprétative dans les textes narratifs (Lector in fabula)*, 1979) ; coll. Biblio essais, éd. Livre de Poche, 1989. p. 17.

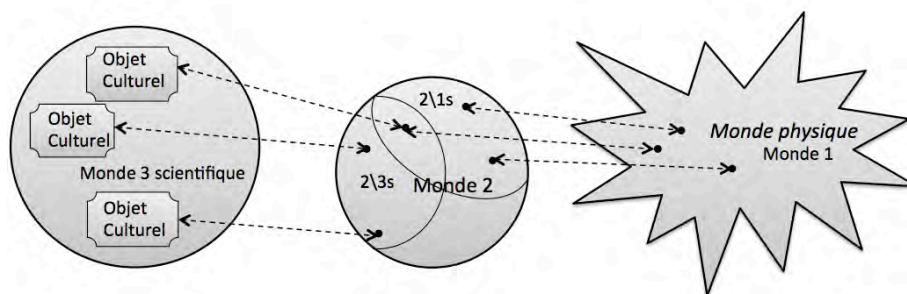


Figure 2.2.2.a. : Représentation symbolique des sous-parties 2\1 & 2\3 du monde 2

On envisagera enfin une zone tampon en marge de 2\3 pour les habitants du monde 2 dotés d'un référent mal assuré dans le monde 3, comme par exemple les concepts immatures, c'est-à-dire non appropriés de manière adéquate par le sujet, qui ne participe donc pas encore de la subjectivité collective correspondante, mais susceptibles d'être reconnus et identifiés à leur référent par *un autre* sujet, comme l'enseignant qui possède, lui, le concept mature et l'encyclopédie adéquate.

Par exemple, un élève de maternelle lutte pour exprimer ce qu'il a compris du fonctionnement d'une poulie mais ne dispose pas des mots associés à ce concept (y compris le terme de |poulie| lui-même) : ses gestes (un doigt tendu par exemple vers la poulie, un mouvement des mains qui mime une rotation ; Fig. 2.3.2.3.b), ses formulations maladroites sont autant de tentatives pour passer un concept immature dans sa zone 2\3_s mais, sans les mots pour le dire, il n'y est pas. Il suffira bien souvent à l'enseignant de fournir le mot manquant pour que le passage de la zone tampon dans la zone 2\3_s se fasse très rapidement.



Figure 2.2.2.b. : Une jeune élève de Maternelle (grande section) tente d'expliquer le rôle de la poulie dans un modèle analogique de puits

Les habitants du monde 2 sont donc de natures très diverses, et cette typologie élémentaire ne saurait se substituer à leur étude avec les outils adaptés à chacun, et qui relèvent aussi bien de la psychologie que des sciences cognitives et, dans le contexte de ce travail, de la didactique des sciences. Elle met toutefois en évidence leur importance cruciale et le fait, souligné par Popper, que « *c'est seulement lorsque le monde 2 agit comme intermédiaire entre le monde 1 et le monde 3 que le monde 1 et le monde 3 peuvent réagir l'un sur l'autre* »¹⁰⁸.

108. Karl Popper, *La Quête inachevée* op.cit., p. 260.

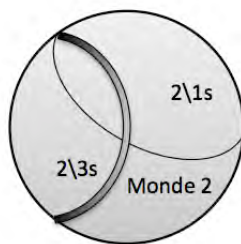


Figure 2.2.2.c. : Représentation symbolique de la "zone tampon" du monde 2

Il est également important de souligner que ces définitions n'impliquent pas de hiérarchie entre les différents éléments du monde 2. En particulier, la création (artistique, mais pourquoi pas également scientifique) repose souvent sur une pure émotion, sans référent *a priori* dans le monde 3. Henri Bergson distingue ainsi deux types d'intelligence créatrice, celle qui « travaille à froid, combinant des idées depuis longtemps coulées en mots », et celle « qui naît d'une coïncidence entre l'auteur et son sujet, c'est-à-dire d'une intuition » — pour mieux noter que « toute œuvre, si imparfaite soit-elle, où entre une part de création (...) est le plus souvent sortie d'une émotion unique en son genre ». ¹⁰⁹

2.2.3. Déplacements dans le Monde 2 et apprentissage

L'appropriation par des élèves d'éléments du programme (monde 3) peut donc être interprétée en termes de création ou de consolidation, dans leurs mondes 2\3, d'habitants dont les référents directs sont ces éléments (lois, théories, etc.).

Pour un élève donné, deux situations se présentent alors :

- a/ Il s'est déjà approprié, sous une forme ou sous une autre, l'élément de programme considéré. Il s'agit donc de modifier un élément déjà présent dans son monde 2\3 (ou éventuellement dans la zone-tampon), donc doté d'un référent dans le monde 3 (e.g. un concept approprié à modifier ou à affiner), ou de connecter plusieurs de ces éléments (e.g. en vue d'élargir l'encyclopédie d'un tel concept).
- b/ Aucune représentation de cet élément n'est identifiable dans son monde 2\3, et il s'agit de l'y créer, ou plus souvent de l'y faire apparaître.

La création *ex nihilo* d'un nouvel habitant du monde 2\3 scientifique d'un sujet est une expérience suffisamment rare pour être mémorable, voire fondatrice : de nombreux physiciens gardent le souvenir ému de l'"illumination" qu'a pu constituer leur rencontre réussie avec un concept abstrait (i.e. sans lien direct avec un élément connu du monde physique) entièrement nouveau. Sauf à considérer des exemples liés aux mathématiques pures, elle ne concerne toutefois pas *a priori* les élèves de primaire en ce qui concerne les sciences, tous les éléments du programme (monde 3) étant résolument liés à des référents du monde physique, de la vie quotidienne ou rencontrés en classe, et pour lesquels les élèves disposent donc déjà de représentations plus ou moins spontanées (monde 2\1).

109. Henri Bergson, *Les Deux sources de la morale et de la religion*, 1932 ; P.U.F., coll. Quadrige, Paris, 2008, p. 43.

En effet, la plupart du temps, « avant tout apprentissage, les apprenants possèdent des idées sur les thèmes étudiés, que ce soit en situation formelle : l'école ou en situation informelle : télévision, journaux ou musées. Ces "conceptions" ont une certaine stabilité et l'appropriation d'une connaissance, l'acquisition d'une démarche de pensée, en dépendent complètement.»¹¹⁰

La robustesse intrinsèque de ces conceptions détermine donc en grande partie le travail nécessaire à les déplacer au sein du monde 2 pour les amener dans le monde 2\3. Par ailleurs, la "topologie" du monde 2 — l'existence, par exemple, d'"obstacles" à un "chemin" direct vers la destination souhaitée — détermine en partie les stratégies d'apprentissage — de "contournement" — à mettre en œuvre.

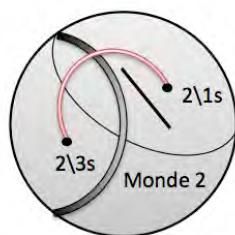


Figure 2.2.3. : Représentation symbolique d'un obstacle et de son contournement

Quoi qu'il en soit, on ne peut faire l'économie d'un travail sur le monde 2 des élèves si l'on souhaite qu'ils acquièrent des connaissances scientifiques adéquates : c'est l'élève qui apprend et personne ne peut se substituer à lui dans le processus^{111,112}.

110. André Giordan, « Les Conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... ! », article disponible en ligne sur son site : <http://www.ldes.unige.ch/publi/rech/concep/concep.htm> (consulté août 2014)

111. Voir par exemple : Jean-Pierre Astolfi, *L'Ecole pour apprendre*, éd. ESF, 1992, p. 100.

112. ou : André Giordan et Gérard De Vecchi, *Les Origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, éd. Delachaux et Niestlé, 1987; réédité en 2012 sous le titre *Aux Origines du savoir*, éd. Ovidia, p. 205.

2.2.3. CONCEPTIONS INITIALES ET OBSTACLES EPISTEMOLOGIQUES

L'objet de cette section est donc de préciser, d'un point de vue maintenant plus didactique qu'épistémologique, les deux notions de *conception initiale* et d'*obstacle épistémologique*¹¹³.

2.3.1. Conceptions initiales

2.3.1.1. Origines de la notion

Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés.

Gaston Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*¹¹⁴

L'un des constats fondateurs de la didactique des sciences, francophone du moins, est que certaines difficultés perdurent souvent tout au long de la scolarité, comme si l'enseignement n'avait pas de prise sur elles^{115,116}. Son interprétation passe par l'étude de la notion de *représentation*, autour de laquelle, selon Jean-Pierre Astolfi, la didactique des sciences francophone s'est d'une certaine façon construite.¹¹⁷ « *Construction intellectuelle momentanée qui permet de donner du sens à une situation en utilisant les connaissances stockées en mémoire et/ou les données issues de l'environnement* », ¹¹⁸ on peut considérer la représentation comme une « *théorie personnelle du sujet, à distance plus ou moins grande du concept.* »¹¹⁹

Si un très large consensus s'est établi sur l'existence de représentations robustes et leur importance,^{120,121} la multitude des appellations et la proximité

113. L'expression, due à Gaston Bachelard est désormais canonique, même si elle est plus employée en didactique qu'en épistémologie *stricto sensu*.

114. Gaston Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*, 1938 ; Vrin, 2004, p. 16.

115. « *Depuis une quinzaine d'années, la recherche en didactique a montré à quel point les représentations des élèves résistent aux efforts d'enseignement. Ces représentations non seulement pré-existent, mais elles tendent à accompagner l'apprentissage d'une façon diachronique à la scolarité et peuvent perdurer, presque intactes jusqu'à son terme... et même bien au-delà.* » Jean-Pierre Astolfi, *L'école pour apprendre*, éd. ESF, 1992.

116. On retrouve un même constat du côté des anglo-saxons : « *Des résultats très solides attestent que tous les étudiants, — les plus faibles comme les plus forts — abordent leurs premiers exposés de science avec des "théories" étonnamment précises sur comment marche le monde naturel. De plus, même après avoir été mis en présence avec de nouveaux concepts et théories dans une salle de classe, ils reviennent à leurs théories antérieures pour résoudre les problèmes qui s'écartent des exemples des livres scolaires* » ; L. Resnik (1982), cité par Samuel Joshua et Jean-Jacques Dupin, *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Presses Universitaires de France, 1993, p. 126.

117. Jean-Pierre Astolfi, « Apprendre par franchissement d'obstacles ? » in *Repères* n°5, éd. INRP, 1992, pp. 103–116.

118. Françoise Raynal et Alain Rieunier, *Pédagogie, dictionnaire des concepts-clés*, éd. ESF, 1997.

119. Michel Develay, *De l'apprentissage à l'enseignement*, éd. ESF, 1992, p. 78.

120. L'Institut pour la pédagogie des sciences naturelles et des mathématiques de Kiel a recensé en 2009 plus de 7000 articles portant sur les conceptions des élèves et des enseignants en didactique des sciences. Pour une liste détaillée téléchargeable en ligne :

http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/download_stcse.html (consulté août 2014)

121. Voir par exemple en France en didactique de la physique : Laurence Viennot, *Raisonnement en physique, La part du sens commun*, éd. De Boeck, 1996 ; Laurence Maurines, « Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals », *International Journal of Science Education*, 1992, 14 (3), pp. 279-293 ; Martine Meheut, Edith Saltiel et Andrée Tiberghien, « Pupils' (11-12-year-old) conceptions of combustion », *European Journal of Science Education*, 1985, 7 (1), pp. 83–93.

lexicale avec d'autres domaines de recherche engendrent un flou certain : André Giordan n'identifie ainsi pas moins de 28 qualificatifs différents accolés au terme "représentation", et de 27 synonymes ! En réaction, il propose avec Gérard De Vecchi, dans *Les Origines du savoir*, le terme de « conception », qui « met l'accent sur le fait qu'il s'agit, à un premier niveau, d'un ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations-problèmes, mais surtout il met en évidence l'idée que cet ensemble traduit une structure mentale sous-jacente responsable de ces manifestations contextuelles. »¹²² La terminologie a beaucoup varié mais l'emploi du terme de « conception » a aujourd'hui tendance à se généraliser¹²³ en didactique des sciences.

Particulièrement importantes pour l'enseignant sont les *conceptions initiales* (C.I.), préalables à l'apprentissage, dont chacune est un ensemble relativement robuste d'idées cohérentes et coordonnées que possède « la plupart du temps »¹²⁴ un sujet à propos d'un phénomène donné avant un cours.

L'existence de conceptions initiales chez les sujets est donc plutôt la règle que l'exception. Leur étude est rendue possible par le fait qu'elles semblent en nombre limité¹²⁵ : plusieurs personnes peuvent avoir des conceptions différentes sur un même thème mais il n'en existe pas autant de conceptions différentes que de sujets¹²⁶. Une même personne peut par ailleurs avoir plusieurs conceptions pour un même sujet, ces conceptions étant activées différemment suivant la situation¹²⁷.

Un des grands objectifs de l'enseignement des sciences à l'école consiste alors à partir des conceptions initiales de chacun des élèves (idéalement) pour les amener vers des conceptions plus adéquates sur lesquelles il est possible de communiquer efficacement. Il arrive qu'une conception initiale soit déjà une conception adéquate : le travail peut alors consister à renforcer, à stabiliser cette conception (typiquement en élargissant l'encyclopédie afférente). Posséder des conceptions inadéquates sur un domaine n'implique par ailleurs aucunement d'être intellectuellement limité ou novice : les conceptions d'enseignants du secondaire en physique¹²⁸ — et parfois même de physiciens professionnels¹²⁹ — sont parfois très proches de celles de leurs élèves.

122. André Giordan et Gérard De Vecchi, *Les Origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, éd. Delachaux et Niestlé, 1987. (réédité en 2012 sous le titre *Aux Origines du savoir*, éd. Ovidia, p. 128).

123. Samuel Joshua et Jean-Jacques Dupin, *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Presses Universitaires de France, 1993, p. 125.

124. André Giordan, « Les Conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... ! », op. cit.

125. Jean-Pierre Astolfi, Eliane Darot, Yvette Ginsburger-Vogel, Jacques Toussaint, *Mots-clés de la didactique des sciences*, éd. De Boeck, 1997, p. 154.

126. Dans une classe d'une trentaine d'élèves, on trouve en physique à l'école primaire en général deux à cinq conceptions différentes exprimées. Par ailleurs, on retrouve pratiquement les mêmes jeux de conceptions à l'œuvre dans des publics issus de cultures très différentes (e.g. France, Iran, Brunei pour certaines des expériences du présent travail).

127. Samuel Joshua et Jean-Jacques Dupin, *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, op. cit., p. 127.

128. Laurence Viennot, *Raisonnement en physique. La part du sens commun*, éd. De Boeck, 1996.

129. Après avoir défié ses lecteurs sur un exercice à propos de la relativité du mouvement « niveau Seconde, rassurez-vous » Jean-Marc Lévy-Leblond n'hésite pas à féliciter ceux qui ont trouvé les bonnes réponses en ces termes : « Si c'est bien votre réponse, bravo, vous faites partie de l'élite experte — ou de la

2.3.1.2. Conceptions initiales et modèles de l'apprendre

La notion de conception initiale *stricto sensu* s'insère dans un modèle particulier de l'apprendre, dit *allostérique*¹³⁰. Il existe aujourd'hui de très nombreuses « théories de l'apprendre » développées par des didacticiens des sciences, lesquelles ont donné lieu à création d'autant de termes pour décrire des notions voisines dans d'autres cadres théoriques. Pour n'en citer que quelques uns : *alternative conception*,¹³¹ *misconception*,^{132,133} *pre-conception*¹³⁴. Si le « modèle du changement conceptuel » (*conceptual change model*) tend aujourd'hui à s'imposer dans le monde anglo-saxon, il en existe cependant de nombreuses variantes.¹³⁵

Cette diversité dérive directement de celle des éléments constitutifs d'une conception initiale. Un autre corollaire est la difficulté à en proposer une définition univoque. Plus que comme un simple habitant du monde 2, le modèle allostérique amène à considérer une C.I. comme une constellation d'habitants du monde 2 plus ou moins lâchement corrélés entre eux. Ainsi, selon André Giordan :

Une conception, ce n'est pas ce qui émerge en classe, c'est-à-dire ce que l'élève dit, écrit ou fait. Une conception correspond à la structure de pensée sous-jacente qui est à l'origine de ce que l'élève pense, dit, écrit ou dessine. Une conception n'est jamais gratuite, c'est le fruit de l'expérience antérieure de l'apprenant (qu'il soit enfant ou adulte). C'est à la fois sa grille de lecture, d'interprétation et de prévision de la réalité que l'individu a à traiter et sa prison intellectuelle. Il ne peut comprendre le monde qu'à travers elle. Elle renvoie à ses interrogations (ses questions). Elle prend appui sur ses raisonnements et ses interprétations (son mode opératoire), sur les autres idées qu'il manipule (son cadre de références), sur sa façon de s'exprimer (ses signifiants) et sur sa façon de produire du sens (son réseau sémantique). Ces divers éléments ne sont évidemment pas facilement dissociables, ils sont totalement en interaction. /.../ [Une conception], en liaison avec une structure cohérente plus vaste, — la pensée de l'apprenant — porte en elle sa logique et ses systèmes de signification propres.¹³⁶

Il arrive parfois que, au cours de l'apprentissage, les élèves modifient leurs conceptions sans rencontrer de difficulté particulière. Cela se produit par exemple quand une conception est liée « lâchement » à une structure « peu cohérente ou étroite » ou quand elle apparaît en réaction à une question

minorité chanceuse ; mais la plupart de ceux que l'on soumet à ce petit test, et même les physiciens pour peu qu'on leur interdise le recours au calcul et qu'on leur demande une réponse immédiate et de bon sens, affirment l'égalité des distances parcourues. » ; J.-M. Lévy-Leblond, *Aux contraires*, Gallimard, 1996, pp. 119–120.

130. André Giordan et Gérard De Vecchi, *Aux Origines du savoir*, op. cit., pp. 12–19.

131. Voir par exemple John K. Gilbert et D. Michael Watts, « Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions : changing perspectives in Science Education », *Studies in Science Education*, 1983, 10(1), pp. 61–98.

132. Voir par exemple le Chapitre 4 « Misconceptions as barriers to understand science » in *Science Teaching Reconsidered : a Handbook*, Committee on Undergraduate Science Education, National Research Council, USA, éd. The National Academies Press, 1997, pp. 27–32. Accessible sur le site de l'éditeur : http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=5287&page=27 (consulté août 2014).

133. Notons que le terme de *misconception* véhicule le sens de « conception erronée », plus limitatif que la notion de conception initiale.

134. Voir par exemple Judith A. Morrison & Norman G. Lederman, « Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions », *Science Education*, 2003, 87 (6), pp. 849–867.

135. Le site de l'université de Georgie (U.S.A.) fournit un historique condensé de ce que recouvre l'expression « conceptual change » ainsi que les références des publications majeures de ce courant de réflexion : http://projects.coe.uga.edu/epltt/index.php?title=Conceptual_Change (consulté août 2014).

136. A. Giordan, « Les Conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... ! », op. cit.

“nouvelle” sur laquelle les élèves n’ont pas encore eu le temps de se faire d’idées. Malheureusement, ce n’est pas toujours aussi facile, en particulier lorsqu’il existe chez l’élèves des conceptions bien “ancrées”, non adéquates. Il n’est alors pas toujours facile de les “déstabiliser”.

En fait, tout apprentissage réussi est un changement de conceptions ; ce qui n’est jamais un processus simple car il n’est pas neutre pour l’apprenant. On peut même dire que c’est un processus désagréable. La conception mobilisée par celui qui apprend donne une signification à celui-ci et chaque changement est perçu comme une menace.¹³⁷

Il s’agit alors de « *faire avec pour aller contre* », l’intégration d’une nouvelle conception adéquate étant facilitée lorsque l’élève parvient à « *réarranger son système explicatif* » d’une façon qui lui convient.¹³⁸ Une conception initiale est donc « *à la fois un progrès et un obstacle ; elle est même d’autant plus un obstacle qu’elle aura constitué un progrès décisif et que, en raison de cela, le sujet lui sera d’autant plus attaché.* »¹³⁹

Le cas où le passage d’une C.I. à une conception adéquate s’avère le plus délicat est sans doute celui où le sujet se trouve confronté à un obstacle qui “bloque” le passage. La notion d’*objectif-obstacle*,¹⁴⁰ l’idée d’obstacle à fissurer, à franchir¹⁴¹ ou d’obstacle à déstabiliser pour reconstruire et développer chez l’élève une « *sensibilité à l’obstacle qui permette d’en surveiller et pointer les nouvelles occurrences* »¹⁴² sont autant de tentatives des didacticiens pour rendre compte de cette difficulté en référence, en particulier, au concept d’obstacle épistémologique créé par Gaston Bachelard, et aux aspects psychologiques développés par Jean Piaget.^{143,144}

137. *idem*

138. Une telle formulation renvoie au modèle allostérique. André Giordan et Gérard De Vecchi, *Aux Origines du savoir*, op. cit. pp. 12–19.

139. Philippe Meirieu, *Apprendre... oui, mais comment ?*, ESF éd., 1989, p. 60. [Notons que, dans le passage cité, Ph. Meirieu emploie le terme de “représentation”, plutôt que de “conception”.]

140. Jean-Louis Martinand, « Sur la caractérisation des objectifs de l’initiation aux sciences physiques » in *Aster*, n°1, éd. INRP, 1985, pp. 141-154 : « Il ne s’agit pas pour nous de transformer en objectifs les obstacles repérés par Bachelard, il s’agit de faire rejoindre deux courants : celui des pédagogues qui cherchent à travers les objectifs à rendre plus efficaces les actions didactiques et celui des épistémologues qui s’intéressent aux difficultés qu’affronte la pensée scientifique. La notion d’objectif-obstacle nous paraît être un moyen pour transformer en instrument didactique les résultats des recherches actuellement en plein développement, et qui portent sur les modes de résolution de problèmes adoptés spontanément par les élèves, ou les représentations qu’ils se font des phénomènes physiques ».

141. Jean-Pierre Astolfi, « Apprendre par franchissement d’obstacles ? », op. cit. p. 110.

142. Brigitte Peterfalvi, « Problématisation et travail sur les obstacles en sciences » in *Situations de formation et problématisation*, Michel Fabre & Etienne Vellas, éd. De Boeck 2006, pp. 91–106.

143. « A l’aspect épistémologique des obstacles, inauguré par Bachelard, répond un aspect psychologique développé par Piaget », J.-P. Altolfi et al., *Mots-clés de la didactique des sciences*, op. cit., p. 123.

144. Jean Piaget, *Introduction à l’épistémologie génétique. Tome II : La Pensée physique*, éd. PUF, 1950.

2.3.2. Obstacles épistémologiques

Bien souvent, dans l'enseignement de la physique et de la chimie j'ai pu reconnaître que certains obstacles qui ont ralenti l'histoire se retrouvent pour ralentir une culture. J'ai trouvé ainsi dans l'histoire des sciences de véritables tests pédagogiques. Il y a là une actualité minutieuse des anciennes erreurs pour désigner les difficultés de la pédagogie élémentaire.

Gaston Bachelard, « Actualité de l'histoire des sciences »¹⁴⁵

La notion d'*obstacle épistémologique*, introduite par Gaston Bachelard dans *La Formation de l'esprit scientifique*, a nourri la recherche française en didactique des sciences. Le philosophe en suggérait l'utilisation pour l'enseignement des sciences, proposant d'aider les élèves à connaître « contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui, dans l'esprit même, fait obstacle à la spiritualisation »¹⁴⁶. Les didacticiens s'y sont efforcés, en adaptant la notion, l'identification d'un obstacle épistémologique passant bien souvent par une analyse approfondie des conceptions des élèves.

Un premier type d'obstacle identifié par Bachelard relève de difficultés inhérentes au monde 1, comme des événements trop rapides ou trop faibles pour être perçus par un sujet. C'est ce qu'il appelle les « *obstacles externes* »¹⁴⁷.

Un deuxième type d'obstacle relève de difficultés internes au sujet, situées dans son monde 2. Ce sont eux, les « *obstacles épistémologiques* » : « des causes de stagnation et même de régression, des causes d'inertie »¹⁴⁸. Ce sont des difficultés « *intimes, profondément inscrites dans l'âme humaine* »¹⁴⁹.

Constatant qu'« il est de la nature d'un obstacle épistémologique d'être confus et polymorphe », ¹⁵⁰ Bachelard procède à l'analyse d'un certain nombre d'entre eux parmi lesquels l'*expérience première*, la *connaissance générale*, les obstacles *verbal*, *substantialiste* ou *animiste*. À titre d'exemple, l'obstacle verbal consiste en un cas « où une seule image, ou même un seul mot, constitue toute l'explication »¹⁵¹.

De nombreux didacticiens, depuis plus de quarante ans, cherchent à identifier les obstacles qui empêchent l'acquisition de certains concepts par les élèves. Ils s'appuient pour cela sur leurs conceptions. Si on les connaît aujourd'hui relativement bien sur de nombreux sujets,¹⁵² de nombreux obstacles restent encore à identifier et des stratégies efficaces pour les modifier à développer.

145. Gaston Bachelard, « Actualité de l'histoire des sciences », 1951, in *L'Engagement rationaliste*, éd. PUF, 1972, p.151.

146. G. Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique* (1938), éd. Vrin, 2004, p. 15.

147. *idem*, p. 15.

148. *idem*.

149. G. Bachelard in « Actualité de l'histoire des sciences », op. cit., p.150.

150. G. Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*, op. cit., p. 24.

151. *idem*, p. 89.

152. Le site de l'AAAS (American Association for the Advancement of Science) propose ainsi les conceptions des élèves sur plus de 600 sujets relatifs aux programmes de collège et lycée : <http://assessment.aaas.org/pages/home> (consulté août 2014).

2.2.4. REPRESENTATIONS, MODELES ET THEORIES PHYSIQUES

En physique, la connaissance scientifique repose souvent sur l'élaboration de modèles et de théories.

L'ambition de cette section n'est en aucun cas de présenter un état des lieux général des réflexions sur les concepts de représentation ou de modèle, que ce soit du point de vue philosophique¹⁵³ ou didactique,¹⁵⁴ mais de préciser le sens dans lequel ces différents termes seront employés dans le cadre de ce travail. On se contentera de les resituer, dans une acception restreinte, dans le cadre théorique esquissé plus haut, et en particulier celui de la théorie des trois mondes.

Tout l'art du théoricien scientifique (par opposition au pur "expérimentateur"¹⁵⁵) consiste à naviguer entre différents niveaux de généralité, et à savoir ce qu'il lui est permis d'affirmer à un niveau donné, et sous quelles hypothèses.



Figure 2.4.1. : De modèles en méta-modèles...¹⁵⁶

2.4.1. Paramètres

Le monde physique est infiniment complexe, quand ses représentations sont finies.¹⁵⁷ Les représentations réduisent donc, par nécessité, leur référent du monde 1 à un jeu d'éléments qu'elles choisissent de représenter (dans le monde 2 ou le monde 3). Les *paramètres* sont les contreparties de ces éléments. Un paramètre peut être un nombre, un symbole, une idée associée à une famille d'objets du monde 1 (e.g. l'idée d'une poulie).

153. *Enquête sur le concept de modèle*, dir. Pascal Nouvel, P.U.F. Paris, 2002.

154. Voir par exemple la bibliographie extensive de P.S. Oh et S.J. Oh. « What Teachers of Science Need to Know about Models : An Overview ». *International Journal of Science Education*, 2011, vol. 33 (8), pp. 1109–1130.

155. Les chercheurs ont l'habitude de distinguer physiciens "théoriciens" et "expérimentateurs". Nous employons ici le terme dans une acception beaucoup plus large, de "personne utilisant des théories ou des modèles dans le cadre d'une démarche scientifique".

156. Illustration (non créditée) d'un article de V. Host, *Aster*, 8, 1989, p. 186.

157. Si nous avons admis *a priori* ce principe métaphysique d'inexhaustibilité du réel (§ 2.2.1.1.), certains philosophes comme Franck Varenne n'hésitent pas à soutenir que « le réel est moins précis que sa simulation (...) dans la situation où l'on veut faire une expérience contrôlée sur lui » ; « S'il fallait poser tout simplement, et au départ de toute enquête scientifique, le caractère inépuisable du réel, cela [lui] semblerait relever plutôt d'une option ontologique, voire religieuse, qu'autre chose. » F. Varenne, *Les Notions de métaphore et d'analogie dans les épistémologies des modèles et des simulations*, éd. Petra, Paris, 2006, pp. 68–69.

Des *paramètres indépendants* sont des paramètres qui peuvent varier indépendamment les uns des autres. On évite d'une manière générale de manipuler des paramètres redondants, dans un souci d'économie.

Les *paramètres indifférents* sont des paramètres dont la variation n'induit pas de changement significatif dans le système représenté, du point de vue dont on le considère. Les paramètres *pertinents* sont ceux dont la variation induit un changement significatif dans le système représenté. La pertinence d'un paramètre est arbitraire dans la mesure où elle dépend du point de vue ou de la question que se pose l'opérateur.

L'ensemble des paramètres *explicitement* pris en compte dans la description d'un système donné constitue un *jeu de paramètres*. Il est important de noter la dimension arbitraire des notions de changement significatif ou de paramètre pertinent. Le choix d'un jeu de paramètres s'inscrit donc le plus souvent dans un *projet de connaissance*,¹⁵⁸ qui l'oriente.

Un jeu de paramètres peut s'avérer incomplet s'il omet un paramètre *a priori* indifférent, mais qui se révèle *par la suite* pertinent.

Par exemple, un jeu de paramètres indépendants d'un problème d'équilibre horizontal tel qu'on en réalise à partir d'une barre (e.g. une règle en bois) supportant deux objets (des boules de pâte à modeler) sont l'existence d'un pivot, les masses des deux objets et leurs distances respectives au pivot. Le paramètre « distance entre les deux objets » n'est pas indépendant des précédents, dans la mesure où il peut être calculé à partir des distances au pivot. La couleur des objets est un paramètre indifférent (sauf si l'on s'intéresse à l'esthétique du montage, ce qui constitue un problème distinct).

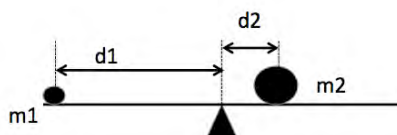


Figure 2.4.1. : Schéma d'un équilibre horizontal en mettant en évidence les paramètres essentiels (pivot, masses et distances respectives)

Les paramètres d'un problème identifiés comme indifférents sont en général exclus des jeux de paramètres considérés, et tendent donc à rester implicites. Il convient toutefois de noter que ce n'est pas le cas des paramètres indifférents mais non encore identifiés comme tels, donc au moins *potentiellement* pertinents, généralement traités, au bénéfice du doute, comme s'ils l'étaient effectivement.

Inversement, dans un contexte scientifique du moins,¹⁵⁹ les paramètres identifiés comme pertinents tendent à être explicites.¹⁶⁰

Remarque : Les mathématiciens réservent souvent le terme de *paramètre* aux éléments d'un problème *a priori* stables, et préfèrent celui de *variable* pour ceux

158. Voire, parfois, d'un projet d'action, même si la question se pose plus dans les disciplines appliquées qu'en physique fondamentale.

159. Ce n'est pas nécessairement le cas d'un traitement littéraire ou artistique, l'ambiguïté à propos de la pertinence d'un paramètre pouvant être un moteur de l'implication du lecteur ou du spectateur, sur le mode de l'intrigue policière, par exemple.

160. Même si, concrètement, il est fréquent que des paramètres essentiels mais réputés connus de tous restent implicites dans le discours scientifique au sein d'une communauté scientifique donnée. Ainsi, un biologiste jugera-t-il rarement utile de préciser que ses expériences se déroulent dans un champ gravitationnel de 1g.

qu'ils sont amenés à faire varier. Ainsi, lorsqu'on choisit de représenter une droite dans un plan cartésien par l'équation $y = ax + b$, a et b sont les paramètres qui déterminent la droite alors que x et y sont des variables, qu'on ne fixe que pour considérer un point particulier. Cette distinction se retrouve parfois en physique, en particulier lorsqu'on décrit le comportement d'un système par une équation¹⁶¹. Elle suppose toutefois une analyse fine *a priori* du statut des différents éléments d'un problème, rarement accessible à l'école primaire et qui complique significativement le travail de modélisation. Nous ne ferons donc pas ici cette distinction.

2.4.2. Maquettes et simulations

Dans un souci de cohérence lexicale, nous précisons ici le terme de *représentation*, d'emploi très général, en distinguant les *simulations* d'une réalisation *particulière* du monde physique¹⁶² (ou d'un phénomène qui s'y déroule) des *modèles* de portée plus générale. Pour lever d'éventuelles ambiguïtés, nous commencerons par définir les *maquettes* et *petits objets*.

2.5.4.1. Maquettes et petits objets

On parlera ici de *maquette* lorsqu'un objet reproduit la *forme* d'un autre objet fonctionnel,^{163,164} comme un avion ou une voiture. Lorsque c'est sa *fonction* qui est reproduite, on parlera de *petit objet*.

La plupart des maquettes à l'usage des enfants sont elles-mêmes non-fonctionnelles. Certaines toutefois le sont ; on pourra alors parler indifféremment, selon le point de vue, de *maquette fonctionnelle* ou de *petit objet*.

Ainsi, si l'on définit un avion comme un objet fabriqué qui a des ailes et dont la fonction est de voler, une sculpture d'avion en bois (figure 2.4.1.2.a.), fidèle à la forme mais incapable de voler sera une maquette, non un « petit avion ».



Figure 2.4.2.1.a. : Maquette en bois d'un Airbus A340¹⁶⁵

161. Par exemple, lorsque dans un problème d'électricité on pose que $U = RI$, la valeur de la résistance est souvent considérée comme un paramètre fixé, alors que la tension et l'intensité apparaissent comme des variables.

162. Rappelons que le monde physique ne connaît jamais que des réalisations particulières (cf. § 2.2.1.1.)

163. On rencontre parfois en français l'expression de *modèle réduit* pour décrire ce que nous avons appelé une maquette. Nous nous abstenons d'utiliser cette expression pour éviter toute confusion entre maquettes et modèles scientifiques.

164. Par ailleurs, le terme anglais *model* est un faux-ami dont les différents sens incluent aussi bien ce que nous avons défini comme une maquette que les modèles scientifiques.

165. Photographie extraite du site : <http://www.quirao.com/fr> (consulté août 2014)

Inversement, un petit objet ne ressemble pas forcément à son objet de référence. Ainsi, si l'on définit une voiture comme quelque chose qui a des roues et dont la fonction est de rouler, une « petite voiture » pourra être aussi bien être une voiture miniature du commerce,¹⁶⁶ d'apparence très reconnaissable (fig. 2.4.2.1.c.), qu'un objet construit en classe, doté de quatre roues et capable de rouler mais d'apparence plus lointaine (fig. 2.4.2.1.b.). Dans ce dernier cas, l'usage de qualificatifs comme « à nous » ou « notre » par des élèves ou des enseignants indique typiquement que la définition choisie n'est pas celle du garagiste.¹⁶⁷



Figure 2.4.2.1.b & c. : Un petite voiture fabriquée par des enfants¹⁶⁸ (à gauche) et une autre du commerce (à droite)

Cette distinction met immédiatement en lumière une difficulté. La fonction d'un objet peut dépendre de sa définition, voire des priorités ou du point de vue de l'opérateur. Définir un bateau comme une machine dont la fonction est de flotter peut suffire pour de jeunes élèves.¹⁶⁹ Dans ce cas, une plaquette de polystyrène, qui flotte, fait un petit bateau satisfaisant (figure 2.4.2.1.d.). Avec une définition plus sophistiquée (intégrant par exemple une forme de barque¹⁷⁰ ou une capacité de transport), le même objet ne sera plus un petit bateau mais un « flotteur », par exemple.

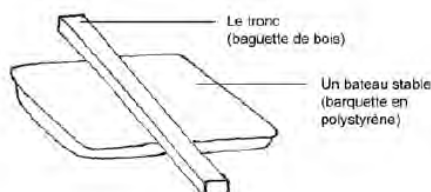


Figure 2.4.2.1.d. : Un petit bateau qui supporte un tronc d'arbre à l'école maternelle¹⁷¹

166. Celles-ci sont donc à la fois des petites voitures (elles ont des roues et elles roulent) et des maquettes (elles ressemblent à des voitures).

167. Les enfants de 7 ans ayant réalisé la séquence correspondante dans des jardins des sciences (atelier « Voiture à propulsion à air », Annexe 2.A, séquence E08) les qualifiaient souvent spontanément comme « notre petite voiture à nous ».

168. Petite voiture construite par des élèves d'une classe de CM1, 2009.

169. C'est ce que fait par exemple Jean-Michel Rolando avec des élèves de petite section. <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/14241/entra-nement-et-structuration> (consulté août 2014)

170. La première définition du dictionnaire de Littré pour « bateau » est : « Sorte de barque dont on se sert ordinairement sur les rivières, mais aussi sur la mer. Bateau plat, bateau de pêcheur. »

171. Image extraite du document de Jean-Michel Rolando. Le tronc d'arbre est représenté par une baguette de bois longue et le bateau par une barquette de polystyrène. <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/14241/entra-nement-et-structuration> (consulté août 2014)

Il est important de noter que les maquettes aussi bien que les petits objets sont par définition des objets physiques, et habitent le monde 1.

2.4.2.2. Simulations

Définition 2.4.2.2.

Une *simulation* est une fiction rendant compte d'une réalisation particulière du monde physique, d'une partie de celui-ci ou d'un phénomène qui s'y déroule.

Une simulation est donc toujours, par construction, distincte de ce qu'elle représente. C'est un phénomène psychologique (i.e. monde 2) ou culturel (monde 3), alors que son référent physique relève du monde 1.

Il convient de noter que cette définition prend en compte, *via* la notion de fiction, *l'intention* de l'auteur ou de l'utilisateur d'une simulation. On n'envisagera ici que le cas où celle-ci est connue et univoque, comme c'est en général le cas dans le champ scientifique.

De même, une simulation suppose une part d'imagination.

Caractéristiques-clef des simulations

- a/ Une simulation n'a, par définition, aucune généralité.
- b/ Une simulation peut utiliser des supports très variés (e.g. des mots, des images, des symboles, des maquettes, des petits objets, un programme informatique, des objets physiques).¹⁷²
- c/ Une simulation est de complexité finie, quand le réel qu'elle représente est toujours inexhaustiblement complexe.
- d/ Des simulations très différentes sur la forme comme sur le fond peuvent porter sur le même référent physique.

La vocation principale d'une simulation est le plus souvent de permettre une confrontation directe avec son référent physique. Si tous les paramètres considérés comme pertinents apparaissent conformes, à un niveau de précision donné, la simulation peut être considérée comme validée, à ce niveau de précision du moins. Dans le cas contraire, elle doit être remise en cause, par exemple par la prise en compte de paramètres précédemment omis.

Une simulation doit donc être considérée comme *modifiable*.

Par ailleurs, la validité d'une simulation n'est jamais que *provisoire*. En effet, la prise en compte de nouveaux paramètres pertinents peut introduire une dissonance entre une simulation précédemment tenue pour valide et son référent.

172. Il va de soi que les traces matérielles d'une simulation (dessin, page de texte imprimé, etc.) relèvent quant à elles du monde 1. Nous n'insisterons toutefois pas systématiquement sur cette distinction, lorsque le statut de ces traces matérielles n'intervient pas dans le raisonnement.

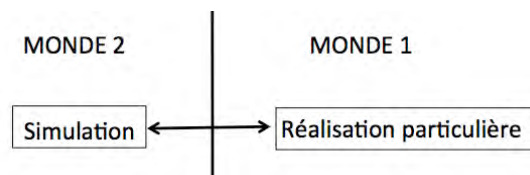


Figure 2.4.2.2.a. : Association schématique d'une simulation et d'une réalisation particulière du monde physique

Simulations habitant le monde 2

Se représenter le monde étant une activité humaine quasi-permanente, d'innombrables simulations de toute nature sont produites à chaque instant, sans vocation particulière pour la plupart à dépasser le stade de leur utilité immédiate.

Ces simulations éphémères habitent donc le monde 2. Elles gardent un lien direct avec ce qu'elles représentent, déterminé par leur auteur. Plusieurs simulations différentes d'un même phénomène peuvent être construites par une même personne au cours du temps, sur des supports variés etc.

Les représentations d'élèves de primaire et de leurs enseignants n'ont *a priori* pas vocation à devenir des objets culturels et rentrent dans cette catégorie.

Chaque individu conserve également en mémoire des simulations plus durables, concernant par exemple des événements qui l'ont marqué (y compris, quelquefois, des expériences menées en cours de sciences).

Simulations habitant le monde 3

Certaines simulations exceptionnelles peuvent néanmoins dépasser la sphère de l'individu (de son monde 2) et accéder au statut d'objet culturel (monde 3), lorsqu'elles sont appropriées par une culture savante. Ainsi, les Tournesols de van Gogh (fig. 2.4.2.2.b.) rendent-ils compte d'une réalisation particulière de tournesols en contexte (vase, mur, etc.), et constituent donc une simulation de cette partie du monde physique. Ils résident clairement dans le monde 3, où les a fait passer la culture savante des marchands d'arts.¹⁷³ De même, la première « photographie » historique d'atomes individuels réalisée par IBM avec un microscope à effet tunnel, qui a fait la Une de toutes les revues scientifiques en 1990, habite aussi le monde 3.



Figure 2.4.2.2.b. & c. : Deux exemples de simulation ayant accédé au monde 3 : à gauche : « Tournesols dans un vase », par Vincent van Gogh ; à droite: Représentation du sigle IBM réalisé à partir d'atomes de xénon individuels¹⁷⁴.

173. En toute rigueur, il conviendrait de distinguer le tableau proprement dit, c'est-à-dire l'objet physique présent dans une vitrine de la *National Gallery* de Londres, et qui habite le monde 1, de la représentation abstraite qu'il incarne, qui relève du monde 3.

174. D.M. Eigler, E.K. Schweizer. « Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope ». *Nature* 344, pp. 524–526 (1990). En ligne sur le site d'IBM : <http://researcher.ibm.com> (consulté août 2014)

Une simulation peut prendre des formes très différentes, notamment :

Simulations analytiques

Lorsqu'on a réduit la représentation d'un objet à un petit nombre de paramètres quantitatifs et à la relation qui les relie, la donnée de valeurs quantitatives précises de tous les paramètres constitue une simulation analytique. Ainsi, la donnée de l'abscisse et de l'ordonnée (e.g. $x = 3$, $y = 2$) constitue-t-elle une simulation abstraite du point correspondant du plan cartésien ; une autre simulation du même point dérive de la donnée de l'abscisse ($x = 3$) et de l'équation de la droite ($y = x/3 + 1$).

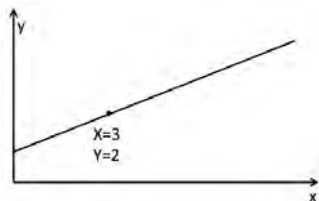


Figure 2.4.2.2.c. : Exemples de simulations analytiques d'un point du plan

Simulations informatiques

Une simulation informatique est une simulation implémentée à l'aide d'un système informatique au sens large, comme un ordinateur. Le développement phénoménal des capacités de traitement des données dans la seconde moitié du XX^e siècle a rendu possible de nouvelles approches de la simulation, ainsi que leur application à de nouveaux champs, comme les sciences sociales, introduisant ainsi de nouvelles pratiques et de nouveaux enjeux épistémologiques,¹⁷⁵ qui sortent du champ de ce travail.

En physique, une simulation informatique repose le plus souvent sur un programme, développé à partir d'un modèle analytique. Ce programme prend en compte un certain nombre de paramètres, qui peuvent chacun prendre différentes valeurs¹⁷⁶. Une simulation (particulière, par définition) correspond à l'exécution complète d'un programme pour un jeu particulier de paramètres.

À la différence d'une simulation analogique, une simulation numérique est en principe parfaitement reproductible, dans la mesure où elle ne fait intervenir que des paramètres explicites.¹⁷⁷

Simulations analogiques

Une simulation analogique repose sur une analogie entre certains éléments du système référent (monde 1) et ceux de sa simulation.

175. Michel Armatte et Amy Dahan Dalmedico, « Modèles et modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », *Revue d'Histoire des Sciences*, 57, 2 2004, pp. 245–305. Accessible en ligne : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rhs_0151-4105_2004_num_57_2_2214 (consulté août 2014)

176. Qui peuvent elles-mêmes être de différentes natures (numérique, matricielle, logique, etc.), telles que prévues par le programme.

177. En toute rigueur, l'exécution de certains programmes particulièrement complexes peut parfois dépendre de contingences externes (état initial des mémoires, etc.) — mais c'est alors tout l'art du numéricien que de les éliminer.

Une simulation analogique (monde 2) est souvent associée à une maquette ou à un petit objet (monde 1) ; mais elle peut également exister par elle-même, dans l'esprit de son concepteur.

L'analogie peut porter sur la forme ou sur la fonction. Par exemple, un enfant qui simule la descente d'un seau au fond d'un puits dont le mécanisme est constitué d'une poulie, d'un axe et d'une corde procède par analogie de forme lorsqu'il utilise une bassine avec un fond d'eau pour représenter le fond du puits contenant de l'eau, et par analogie de fonction lorsqu'il utilise une bobine de fil vide qui roule librement autour d'une tige pour représenter la poulie.



Figure 2.4.2.2.d. : Simulation analogique de la remontée d'un loup prisonnier au fond d'un puits

Simulations littéraires ou artistiques

Les simulations peuvent prendre des formes très différentes. Artistes et écrivains, en particulier, peuvent décider d'en réaliser avec leurs outils propres. Ainsi, le cycle des *Rougon-Macquart* d'Émile Zola, qui revendique l'écriture de « romans naturalistes » sans toutefois « se risquer à formuler des lois », ¹⁷⁸ constitue-t-il une série de simulations littéraires de la société de son époque, comme le suggère son sous-titre : *Histoire naturelle d'une famille sous le Second Empire*.

Les paramètres intervenant dans ces simulations sont rarement explicites.¹⁷⁹ On peut même imaginer, comme le suggère Gérard Klein,¹⁸⁰ qu'un auteur n'ait pas toujours conscience des éléments qu'il incorpore à son œuvre et que ces

178. « Certes, je n'entends pas ici formuler des lois. Dans l'état actuel de la science de l'homme, la confusion et l'obscurité sont encore trop grandes pour qu'on se risque à la moindre synthèse. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'il y a un déterminisme absolu pour tous les phénomènes humains. » Zola choisit donc de maintenir ses « expériences » littéraires, pensées sur le modèle de la méthode expérimentale de Claude Bernard, au niveau du cas particulier, celui de la simulation. Émile Zola, *Le Roman expérimental*, 1881 ; Garnier-Flammarion, 2006.

179. Et lorsqu'ils le sont, c'est souvent pour montrer soit la robustesse de l'histoire au regard de ces paramètres, soit au contraire sa grande sensibilité à de petites variations, comme dans les films *Smoking* et *No Smoking* réalisés par Alain Resnais en 1993.

180. Gérard Klein, *Trames et Moirés* (1986). éd. du Somnium, Nice, 2011. Klein y développe l'exemple de l'écrivain H.P. Lovecraft, dont l'œuvre fantastique permettrait de rendre compte des mutations économiques et sociales encore non identifiées, ni même réellement perçues, mais déjà sourdement à l'œuvre dans l'Amérique du début du XX^e siècle.

éléments implicites soient les traces d'une subjectivité collective à laquelle il appartient inconsciemment.

On ne développera pas plus ce type de simulations, qui sortent largement du cadre de ce travail.

2.4.2.3. Simulations prospectives et spéculatives

Certains objets physiques ne sont pas directement accessibles directement à l'expérience (e.g. un trou noir). Il n'en demeure pas moins possible de les simuler, par exemple sur la base d'une analyse théorique. Dans la mesure où aucune confrontation entre la simulation et son référent est possible, on parlera à ce propos de simulation spéculative.

Il est également possible de simuler une réalisation future du monde. La confrontation de la simulation au monde physique reste alors faisable mais est retardée (e.g. une simulation météorologique). On parlera à ce propos de simulation prospective.

2.4.3. Modèles

On peut également souhaiter rendre compte d'une famille de réalisations (par opposition à une réalisation particulière) du monde physique. Il ne s'agit alors plus de simulation (puisque cela ne porte plus sur un cas particulier) mais de *modélisation*.

Définition 2.4.3.

Un *modèle* est une fiction dotée d'un certain degré de généralité et dont l'objet est une vision simplifiée du monde physique, d'une partie de celui-ci ou de phénomènes qui s'y déroulent.

Comme les simulations, les modèles relèvent du monde 2 ou du monde 3. De même, les paramètres sur lesquels ils reposent peuvent être explicites ou non.

Lorsque le système modélisé fait intervenir un très grand nombre de paramètres, comme c'est typiquement le cas dans les sciences humaines et sociales,^{181,182} il est parfois difficile d'expliciter tous les paramètres pertinents, au risque du réductionnisme.

Même en sciences dites « dures », certains systèmes font appel à un tel nombre de paramètres susceptibles d'être pertinents qu'il s'avère difficile de les expliciter, et *a fortiori* de construire des modèles les prenant tous en compte. C'est typiquement le cas de l'évolution des climats. Le GIEC¹⁸³ développe ainsi de nouvelles approches méthodologiques, et même de nouveaux outils

181. Voir par exemple en didactique, André Giordan. « Des Modèles pour comprendre l'apprendre : de l'empirisme au modèle allostérique ». En ligne : <http://www.andregiordan.com/articles/apprendre/modeleallostérique.html> (consulté août 2014).

182. Franck Varenne. *Modéliser le social*. éd. Dunod, Paris, 2011.

183. Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat. Les analyses méthodologiques du GIEC sont accessibles sur leur site : www.ipcc.ch.

épistémologiques comme la notion de « faisceaux de scénarios plausibles »^{184,185,186} pour gérer cette situation hautement complexe et interdisciplinaire.

Il existe donc un continuum de techniques de modélisation, de la modélisation de systèmes faisant appel à un petit nombre de paramètres pertinents facilement manipulables aux systèmes pour lesquels le nombre de paramètres à prendre en compte implique le développement de nouveaux outils de modélisation et d'analyse, en passant par des modèles moins formels n'explicitant pas leurs paramètres.

2.4.3.1. Modèles explicites

En physique, les situations étudiées restent néanmoins la plupart du temps suffisamment peu complexes pour permettre l'identification des paramètres pertinents. Les modèles des physiciens explicitent donc dans toute la mesure du possible ceux qu'ils mettent en œuvre. On définira ici un *modèle explicite* comme un modèle construit autour d'un jeu explicite de paramètres.

Lorsqu'on fixe l'ensemble des valeurs de ces paramètres, on lève la généralité d'un modèle et le résultat est, par définition, une simulation. Cette simulation est donc l'application du modèle à une situation particulière définie par ce jeu de valeurs spécifiques. On a appliqué le modèle à un cas particulier (monde 1). L'ensemble des problèmes où le modèle a vocation à s'appliquer constitue son *champ d'application*¹⁸⁷.

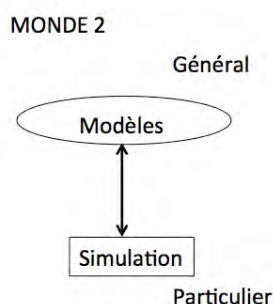


Figure 2.4.3.1.a. : Navigation entre une simulation particulière et un modèle général dans le monde 2

184. Plus précisément, le GIEC définit un "scénario" comme « une description cohérente et plausible d'un état futur possible du monde. Ce n'est pas une prédiction ; chaque scénario est l'une des images alternatives que le futur peut déployer ». Dans notre lexique, un scénario est donc une simulation d'un futur possible, qu'on peut généraliser en définissant une gamme de variation possible de certains de ses paramètres — ou des effets de leur variation — lorsqu'il s'agit de paramètres implicites. Le modèle ainsi obtenu est alors un "faisceau de scénarios", que le GIEC qualifie de « plausible » lorsqu'il peut revendiquer une probabilité que l'un des scénarios du faisceau se réalise supérieure à 95%.

185. Éric Picholle. « Penser l'impensable : terra-former une autre planète pour préserver la nôtre ? » Actes du Colloque *De la science-fiction à la réalité*, organisé par le Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective, déc. 2012. pp. 37–41. Accessible en ligne :

<http://archives.strategie.gouv.fr/content/actes-du-colloque-de-la-science-fiction-la-realite> (consulté août 2014)

186. Valérie Masson-Delmotte, entretien avec l'auteur, Nantes, nov. 2013. Accessible en ligne : « Quel climat pour le futur », <http://www.actusf.com/spip/Utopyales-13-Conference-Quel.html> (consulté août 2014)

187. On retrouve ici une des trois caractéristiques essentielles des modèles identifiée par Jean-Louis Martinand : « les modèles sont pertinents pour certains problèmes dans certains contextes ». « Introduction à la modélisation », op. cit., p. 1.

Construction de modèle explicite

Un modèle scientifique¹⁸⁸ peut être construit soit par induction à partir de cas particuliers, soit par déduction à partir de considérations plus générales, comme une théorie admise qui détermine *a priori* les paramètres susceptibles d'être pertinents et les relations entre eux.

Lorsque le modèle est déduit d'une théorie, sa construction revient la plupart du temps à préciser son champ d'application pour constituer un jeu de paramètres pertinents, et à mettre l'accent sur les relations entre ces paramètres imposées par la théorie.

Lorsqu'il procède par induction, l'opérateur doit non seulement identifier les paramètres pertinents, sans le guide d'une théorie, mais aussi construire une vision simplifiée du monde. Une stratégie courante est de commencer par identifier des réalisations du monde physique qui présentent des régularités. À ces réalisations, l'opérateur associe une famille de simulations conservant les régularités observées. Il isole alors un nombre réduit de paramètres dont la variation est susceptible de rendre compte de ces régularités. Il peut élaborer sur cette base un modèle explicite. Ce modèle n'est pas unique, un même jeu de paramètres autorisant un nombre considérable de fictions.

Il est par exemple possible de construire par induction le modèle géocentrique ou le modèle héliocentrique en ayant isolé comme paramètres, les positions respectives des planètes, du Soleil et de l'observateur.

Comme les simulations, les modèles sont *provisaires* et *modifiables*¹⁸⁹. Ils permettent de plus de faire des *prédictions*.

Prédictions et validation d'un modèle

Pour valider un modèle, on s'assure qu'il rend bien compte des cas particuliers qui ont servi à sa construction. Pour cela, il est nécessaire de dériver du modèle (général) des simulations correspondant à ces cas particuliers et de les confronter à leur référent physique.

Une fois cette vérification réalisée, on dérive du modèle une nouvelle simulation particulière qui est une prédiction.

Définition 2.4.3.1.

Une *prédiction* est une proposition univoque portant sur une réalisation particulière future du monde physique.

Cette prédiction est confrontée au cas particulier correspondant dans le monde 1. Lorsque la prédiction est conforme à la réalité, le modèle est provisoirement validé. Dans le cas contraire, le modèle est modifié pour rendre compte de ce nouveau cas particulier et le processus est réitéré.

188. Ce n'est pas nécessairement vrai des modèles non scientifiques. Ainsi, dans *Eureka (Eureka : A prose poem, 1848, trad. Charles Baudelaire, éd. Le Castor Astral, 1993)*, Edgar Poe propose-t-il un modèle cosmologique construit par intuition directe de l'artiste.

189. On retrouve ici les deux autres caractéristiques essentielles des modèles identifiées par Jean-Louis Martinand : « les modèles sont *hypothétiques* et *modifiables* ». « Introduction à la modélisation », op. cit., p. 1.

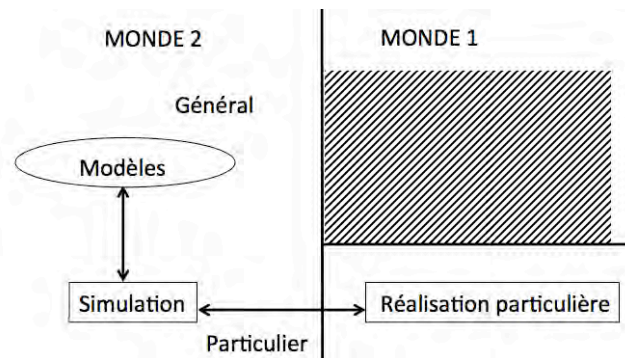


Figure 2.4.3.1.b. : Confrontation d'une prédiction (simulation) d'un modèle du monde 2 à une réalisation particulière du monde 1

Il est toutefois important de noter que la validation d'un modèle est toujours provisoire, un test indépendant sur une autre réalisation du monde physique étant toujours susceptible d'échouer dans le futur ; et qu'elle ne signifie en aucun cas que ce modèle est *le seul* susceptible de rendre compte du système physique auquel il a été confronté, ni même le meilleur.

2.4.3.2. Typologie des modèles

On distinguera quatre types principaux de modèles : les modèles analytiques, analogiques, informatiques et littéraires.

Modèles analytiques

Les modèles analytiques s'appuient sur l'analyse mathématique pour représenter le monde physique. Ils utilisent le plus souvent des symboles, des nombres ou des équations.

Ainsi, un modèle analytique élémentaire de la diffraction d'une onde par un trou repose sur l'équation $\theta = \lambda/d$.¹⁹⁰

Les paramètres d'un modèle analytique sont toujours explicites. En fixer toutes les valeurs pour l'associer à une expérience particulière constitue une simulation analytique.

Modèles analogiques

James Clerk Maxwell est probablement le premier à revendiquer explicitement la possibilité de raisonner sur une *analogie physique*, c'est-à-dire « *cette ressemblance partielle entre les lois d'une science et les lois d'une autre science peut servir à illustrer l'autre* », comme celle qu'il suppose entre les lois de l'hydrodynamique et celles de l'électromagnétisme qu'il tente de développer.¹⁹¹

Quoique de même nature, les analogies considérées à l'école primaire sont bien sûr élémentaires, et reposent principalement sur l'emploi d'objets physiques (i.e. du monde 1) analogues à ceux que l'on souhaite représenter.

Par exemple, une lampe de poche et une balle en polystyrène peuvent constituer un modèle analogique de la Terre et du Soleil. Le possibilité de faire varier leurs

190. Où λ est la longueur d'onde de l'onde incidente, d le diamètre du trou et θ l'ouverture numérique.

191. J.C. Maxwell, « On Faraday's Lines of Force », 1855.

positions relativement à l'observateur lui confère sa (modeste) généralité. Une position donnée de la boule de polystyrène par rapport à la lumière fournit une réalisation particulière du modèle, une simulation analogique.

Modèles informatiques

Les modèles informatiques reposent la plupart du temps sur un programme (code) informatique. Une exécution particulière d'un programme, avec des valeurs initiales données pour tous les paramètres constitue une simulation informatique.

Modèles systémiques

Les systèmes considérés en physique sont en général déterminés de façon rigoureuse, et dans une large mesure réductibles, en ce qui concerne le physicien, à des jeux de paramètres identifiables. Cette approche trouve toutefois sa limite lorsqu'on les interroge sous des angles plus ouverts. Ainsi, si la mécanique céleste peut se contenter de représenter la Terre par sa masse, son diamètre, sa position et sa vitesse par rapport au Soleil, il n'en va plus de même des études sur l'évolution du climat, et le GIEC doit développer des stratégies de modélisation plus complexes.

Une approche courante en biologie et en ingénierie consiste à modéliser, plutôt que les caractéristiques individuelles de tous les éléments pertinents d'un système, les *fonctions* de sous-systèmes, que l'on considère alors comme autant de « boîtes noires », et les relations entre ces sous-systèmes¹⁹². L'un des avantages majeurs de cette approche est de conduire à « un rapprochement de certaines disciplines par la modélisation de démarches communes et par l'extension du domaine logico-mathématique qui permet de traiter les données ».¹⁹³

Modèles littéraires

Les modèles littéraires représentent le monde physique par l'intermédiaire d'un texte et n'ont le plus souvent pas de paramètres explicites.

Un exemple de modèle est, de nouveau, l'univers littéraire des Rougon-Macquart — c'est-à-dire l'ensemble de personnages, de règles et de conventions générales assurant la cohérence interne du cycle et dans lequel puisait Zola pour en composer les textes (chacun constituant une réalisation particulière, et donc une simulation, de cet univers).

2.4.3.3. Modèles canoniques

Certains modèles particulièrement importants accèdent au rang d'objet culturel. On parle alors de modèles canoniques. Leur statut dans la

192. La systémique moderne s'inspire en particulier de la "cybernétique" de Norbert Wiener, qui met un accent particulier sur les « boucles de rétroaction » (feedback) entre différents éléments d'un système. N. Wiener, *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Hermann, Paris, 1948. Notons que de telles boucles ne sont pas *a priori* incompatibles avec une modélisation physique traditionnelle, mais suffisent à rendre ces modèles non linéaires, donc mathématiquement inaccessibles aux non spécialistes, et en tout cas à l'école primaire.

193. V. Host, « Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques », in ASTER n°8, *Expérimenter et modéliser*, 1989, p. 209.

communauté en fait des habitants du monde 3. Il va de soi qu'au moment de leur création, ils relevaient du monde 2.

La communauté concernée, et par suite la canonicité d'un modèle donné, peut varier selon le contexte. Ainsi, le modèle héliocentrique de Copernic ou le modèle planétaire de Bohr peuvent-ils être considérés comme canoniques dans un contexte "grand public" alors que les modèles des gaz de Van der Waals ou des fluides newtoniens ne le seront que du point de vue de la communauté physicienne.

Il convient donc de noter que la reconnaissance comme tel d'un modèle canonique n'implique pas nécessairement une compréhension réelle. Lorsque sa notoriété dépasse la communauté scientifique, la trace culturelle d'un modèle canonique peut se limiter à l'une ou l'autre de ses caractéristiques. Ainsi, « tout le monde connaît » l'allure du modèle planétaire de l'atome (trace graphique) et « sait bien » que, selon Copernic, « la Terre tourne autour du Soleil » (trace culturelle réduite à une idée, voire à une formule).



Figure 2.4.3.3. : Modèle héliocentrique de Copernic (1511, à gauche) et modèle planétaire de l'atome de Bohr (1913, à droite)¹⁹⁴

Les modèles canoniques restent néanmoins des outils conceptuels de faible généralité par comparaison aux concepts ou aux principes.

Modèles canoniques et enseignement

Un des enjeux majeurs de l'enseignement des sciences à l'école primaire est de rendre les élèves capables de communiquer à propos de science. Il va de soi que cette compétence doit s'appliquer à l'école elle-même, et qu'un élément essentiel en est la capacité à communiquer efficacement avec ses enseignants, condition nécessaire de l'apprentissage scolaire. La connaissance des modèles faisant partie de la culture scolaire réputée acquise à un niveau donné, la capacité à les reconnaître et à les mobiliser à la simple mention de leur nom par l'enseignant, peuvent déterminer en partie l'efficacité d'un cours de sciences en pédagogie frontale, dans la mesure où, d'une part, elles peuvent permettre à l'enseignant des "raccourcis" et des gains de temps significatifs avec une "bonne classe" (de ce point de vue du moins) ; mais inversement, d'autre part, où leur défaut peut alors être un facteur de décrochage pour certains élèves.

194. Images extraites des sites suivants :

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbig/decouv/ximg/chrono/systemSol/syssolaire/2.htm>

<http://www.imcce.fr/promenade/pages3/327.html> (consulté août 2014)

Mais cette compétence communicationnelle doit aussi valoir hors du champ scolaire : dans une société fière de sa “modernité”, ne pas savoir que “la Terre tourne autour du Soleil” peut exposer au même ridicule que de croire au Père Noël. Cette intégration à la subjectivité collective des individus normalement cultivés en matière scientifique passe également, en particulier, par une familiarité minimale avec certains modèles canoniques, comme le modèle héliocentrique du système solaire.

Ce sont les programmes scolaires qui déterminent les modèles qui doivent être acquis par l’ensemble des élèves.

2.4.4. Théories et lois physiques

2.4.4.1. Théories

Définition 2.4.4.1.

Une théorie est un ensemble cohérent d’outils conceptuels permettant de naviguer entre des considérations générales et des situations particulières.

“Général” s’entend ici au sens le plus large : certaines théories prennent en compte les considérations les plus générales sur le monde physique (comme ses symétries fondamentales, pour la théorie des cordes), quand d’autres, plus spécialisées, se contentent de “généralités” de plus bas niveau, valides uniquement dans un domaine restreint.

Une navigation du particulier au général permet d’expliquer un cas particulier, d’en faciliter la compréhension à la lumière des considérations générales auxquelles on l’associe.¹⁹⁵

Certaines théories sont appropriées par la culture savante scientifique ; on parle alors de théories canoniques.

Les théories canoniques sont cependant pour la plupart des ensembles relativement sophistiqués. Le simple fait qu’une théorie soit associée à un nom illustre, comme l’optique *euclidienne* ou la théorie de l’électromagnétisme *de Maxwell*, est déjà un indice fort que ce sont des théories complètes qui ont résisté aux outrages du temps et à un bon nombre de tests. Une théorie peut toutefois continuer à habiter le monde 3 longtemps après qu’elle a été dépassée,¹⁹⁶ voire réfutée, comme la théorie génétique de Lyssenko.

L’histoire des sciences montre que l’accession d’une nouvelle théorie au statut d’objet culturel intègre souvent un nouveau formalisme qui lui est adapté. Selon la définition précédente, la théorie inclut alors aussi bien les nouvelles idées physiques générales sur le monde, ou sur les phénomènes considérés,

195. À partir d’un certain niveau de généralité du moins ; ainsi, les lois (théories de basse généralité) n’ont-elles pas nécessairement de pouvoir explicatif.

196. Ainsi de la géométrie euclidienne, dont certains axiomes anciennement non testables deviennent dans ce cadre des théorèmes démontrés de la géométrie non euclidienne. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non* (1940), P.U.F., coll. Quadrige, Paris, 2008. De même, l’optique géométrique est dépassée par la théorie électromagnétique, la propagation sous forme de rayons étant la limite de l’optique physique aux très petites longueurs d’onde (on parle ainsi légitimement de *rayons* X ou gamma).

que le formalisme associé qui permet de les appliquer efficacement à des cas particuliers.¹⁹⁷

Un corollaire est qu'on ne sait jamais quels nouveaux outils conceptuels accompagneront l'intégration d'une nouvelle théorie dans le monde 3, et qu'il serait vain de limiter *a priori* l'emploi du terme aux théories faisant usage de certains formalismes déjà (re)connus.

Inversement, le terme de théorie physique peut s'employer en présence d'un ensemble très restreint d'outils de navigation entre le particulier et le général. Une explication élémentaire d'élève de maternelle pour interpréter un phénomène peut donc être considéré comme une théorie très élémentaire. Il va de soi qu'elle est très éloignée des théories canoniques. Des élèves de niveau primaire ne manipulent donc *a priori* pas de théories canoniques.

Remarque : Des modèles très différents peuvent être dérivés d'une même théorie. Ainsi la théorie d'Aristote selon laquelle les objets cosmiques ont un mouvement naturel et les objets périssables un lieu naturel permet de construire aussi bien le modèle géocentrique (Ptolémée) que le modèle héliocentrique (Aristarque de Samos, Copernic).

2.4.4.2. Lois

À la limite (dans cette définition du moins), la simple identification de comportements communs à une classe de phénomènes observés constitue une théorie élémentaire, dans la mesure où l'on procède à une navigation entre ce (bas) niveau de généralité et les cas particuliers considérés — c'est-à-dire, concrètement, où l'on affirme la généralité de ce comportement déduit de l'observation (*particulier* → *général*) et où l'on s'en sert pour prédire de nouveaux comportements identiques (*général* → *particulier*).

Pour ce type de théorie de faible généralité, on préférera toutefois parler de *loi* :

Définition 2.4.4.2.

Une loi est une théorie consistant seulement en l'énoncé d'une proposition de généralité limitée.

Une théorie de basse généralité est le plus souvent purement descriptive. Certains auteurs distinguent les théories des lois selon l'établissement ou non de liens de causalité, la présence ou non d'explications. Ils réservent alors le terme de théorie à celles disposant d'un pouvoir explicatif et utilisent le terme de *loi* pour des théories purement descriptives.¹⁹⁸

197. Il va de soi que ces deux composantes apparaissent rarement simultanément, et qu'elles sont presque toujours le fruit d'un long cheminement. Ainsi, ce qu'il est aujourd'hui convenu d'appeler la "théorie électromagnétique de Maxwell", telle qu'elle est employée et enseignée (i.e. : Monde 3), est indissociable du concept de champ. Or celui-ci n'avait pas encore été développé lors de sa conception (Monde 2) par James Clerk Maxwell (1864), dont les premières tentatives de représentation reposaient sur des analogies mécaniques et hydrauliques. Nous ne discuterons ici ni le statut épistémologique des théories émergentes, ni les mécanismes cognitifs à l'œuvre dans leur élaboration, alors qu'elles appartiennent encore au monde 2.

198. « *In general, laws are descriptive statements of relationships among observable phenomena. Boyle's law, which relates the pressure of a gas to its volume at a constant temperature, is a case in point. Theories, by contrast, are inferred explanations for observable phenomena or regularities in those phenomena. For example, the kinetic molecular theory serves to explain Boyle's law. Theories and laws are different kinds of knowledge and one does not become the other.* » N.G. Lederman, F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell & R. Schwartz, « Views

Ainsi, la loi d'Ohm [$U = RI$] décrit une relation entre tension, intensité et résistance sans fournir d'explication à cette relation.¹⁹⁹

Comme pour les théories, certaines lois, souvent associées à des noms illustres (e.g. la *loi d'Ohm*), accèdent au rang d'objets culturels canoniques. Dans ce cadre, le terme de loi reste parfois employé dans un sens plus large,²⁰⁰ hérité en particulier de Newton²⁰¹; ainsi, en dépit de sa très grande généralité, le principe fondamental de la dynamique est-il souvent présenté comme la "seconde loi de Newton".

2.4.5. Principes et paradigmes scientifiques

2.4.5.1. Principes et concepts fondamentaux

Les principes et les concepts fondamentaux sont les objets épistémologiques du plus haut niveau de généralité.

Concepts scientifiques

La notion de concept, telle que l'entendent les philosophes, est extrêmement vaste et complexe, dans la mesure où l'on peut définir, avec Kant, l'entendement humain comme la « faculté des concepts », par opposition à la sensibilité.²⁰²

Aussi général soit-il, pour devenir un objet culturel et passer dans le monde 3 scientifique, un concept doit donc non seulement être raisonnablement mature et opératoire, mais également transmissible d'un sujet à l'autre. Pour cela, explique Bachelard, les concepts scientifiques doivent d'abord rompre avec le sujet et ses représentations d'un objet immédiat et « *s'isoler dans leur signification* »²⁰³.

Pour autant, « *dans une culture scientifique, les concepts gardent trace de leur historicité* »²⁰⁴. Une difficulté supplémentaire est en effet que la signification d'un concept évolue avec le temps. Par surcroît, la signification d'un même

of nature of science questionnaire : Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science ». *Journal of Research in Science Teaching*, 2002, vol. 39 (6), pp. 497–521.

199. La loi d'Ohm est de généralité limitée dans la mesure où son usage est limité à des circuits idéaux, purement résistifs.

200. Notons toutefois que les lois canoniques présentent, par construction, une certaine universalité. La définition 2.4.4.2., conçue pour la science scolaire, devrait probablement être précisée en ce qui concerne la "limite" de généralité acceptable pour une loi si on voulait l'appliquer à la science professionnelle.

201. I. Newton *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, 1687. Accessible en ligne : http://classiques.uqac.ca/classiques/newton_isaac/principes_math_philo_naturelle/principes_philo_naturelle_t1.html (consulté août 2014).

202. E. Kant, *Critique de la raison pure*, 1781. Kant oppose l'entendement, faculté des concepts, à la sensibilité, faculté des représentations directes des objets qui nous entourent. Il distingue également les concepts, généraux mais non absolus, des idées transcendantes, valables sans restriction.

203. G. Bachelard, *La Terre et les rêveries du repos*, 1948, éd. José Corti, p. 2.

204. G. Bachelard, *Le Matérialisme rationnel*, 1953, PUF, p. 126.

concept peut s'avérer très différente d'une théorie à l'autre, voire entre deux interprétations concurrentes d'une même théorie.²⁰⁵

On distinguera les *concepts fondamentaux*, irréductibles, comme la couleur, la vitesse ou l'accélération, des *concepts dérivés*, construits à partir des précédents dans un cadre théorique donné,²⁰⁶ comme la longueur d'onde. Dans un souci de simplicité, on réservera ici le terme de concept aux concepts fondamentaux, et on parlera plutôt de *notion* pour les concepts dérivés.²⁰⁷

En admettant que le caractère opératoire d'un concept scientifique se mesure au pouvoir explicatif des raisonnements qui les mettent en œuvre, on définira donc ici un concept comme :

Définition 2.4.5.1.a.

Un concept scientifique est une idée purement abstraite et de grande généralité, susceptible d'intervenir dans l'interprétation de nombreux phénomènes physiques.

L'histoire des idées scientifiques peut alors être envisagée comme une généalogie des concepts scientifiques, l'apparition d'un nouveau concept ou une mutation radicale de sa signification constituant une "rupture épistémologique".

Ainsi, les concepts de force, de mouvement et de vitesse apparaissent-ils dès les origines antiques de la mécanique. Mais là où Aristote définit le mouvement comme « *l'acte d'un être en puissance, en tant qu'il est en puissance* », ²⁰⁸ ce qui peut inclure aussi bien le mouvement d'un objet au sens moderne que le fait de vieillir ou de tomber amoureux, Descartes et Galilée réservent le terme au *transport* d'un objet dans l'espace. Si la formalisation du concept de vitesse comme rapport d'une distance à un temps de parcours est progressive, celui d'accélération n'apparaîtra qu'avec Newton, et Galilée doit encore s'en passer pour son étude de la chute des corps.

L'existence d'un concept ne dit donc rien de la façon dont il intervient dans un discours sur le monde, ni sur la façon dont différents concepts peuvent être articulés entre eux. Ainsi, les concepts de monde et d'infini peuvent-ils être articulés pour affirmer que le monde est infini, ou tout au contraire qu'il est fini.

Principes scientifiques

Lorsqu'ils sont posés *a priori*, de tels énoncés constituent des *principes physiques*.

Définition 2.4.5.1.b.

Un *principe* articule des *concepts*. Il est *admis* sans démonstration.

205. Un exemple frappant est le concept de *fonction d'onde*, que l'école de Copenhague interprète comme une densité de probabilité de présence et la Mécanique ondulatoire de Louis de Broglie comme une "onde pilote" physique.

206. Un même concept peut donc apparaître comme fondamental dans un paradigme donné, et dérivé dans un autre.

207. On rejoint ici l'usage des didacticiens plutôt que celui des philosophes, pour lesquels une "notion" est plutôt un concept abstrait, comme la Liberté.

208. Aristote, *Physique*, III, 1, 201b. Descartes ne cite cette définition que pour la juger « incompréhensible ».

Le concept d'infini, d'univers ou celui de contingence rendent possible un certain regard sur le monde. Leur articulation permet de construire différents principes tous aussi indémontrables les uns que les autres : l'univers est fini ou l'univers est infini, l'univers est contingent ou l'univers est déterministe.

Certains principes peuvent s'exprimer sous forme analytique. Ainsi, après avoir précisé le concept de *force*, Newton l'articule-t-il avec ceux de masse et d'accélération en posant le *Principe fondamental de la dynamique* :

$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$$

Lorsqu'une proposition articulant des concepts dérive d'une démonstration, il ne s'agit pas d'un principe, mais d'un *résultat* de la théorie ayant permis cette démonstration.

Remarque : Plutôt que de principes, les mathématiciens parlent souvent d'*axiomes*, un résultat démontré étant un *théorème*.

2.4.5.2. Paradigmes scientifiques

Même si leur construction historique apparaît souvent désordonnée, ces différents éléments épistémologiques constituent des arsenaux conceptuels qu'il est possible d'organiser *a posteriori* en fonction de leur généralité.

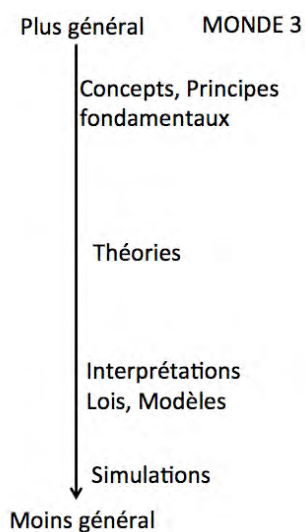


Figure 2.4.5.2.a. : Organisation des objets conceptuels canoniques en fonction de leur généralité

Cette présentation d'un arsenal conceptuel partant du plus général (concepts, principes) pour étayer une théorie des interprétations de laquelle on dérive à son tour des modèles s'inspire en particulier des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, d'Isaac Newton (1687), "*ouvrage paradigmatique*"²⁰⁹ s'il en est de la physique moderne.

Dans le lexique de Thomas Kuhn, un tel ensemble cohérent faisant consensus dans une communauté scientifique donnée constitue sa *matrice disciplinaire*. On

209. Au sens que Thomas Kuhn donne à ce terme dans *La Structure des révolutions scientifiques* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962), éditions Champs Flammarion, Paris, 1983.

parle aujourd'hui plutôt à cet égard de *paradigme*. Un paradigme est donc un ensemble cohérent d'objets culturels (*i.e.* : monde 3 scientifique²¹⁰).

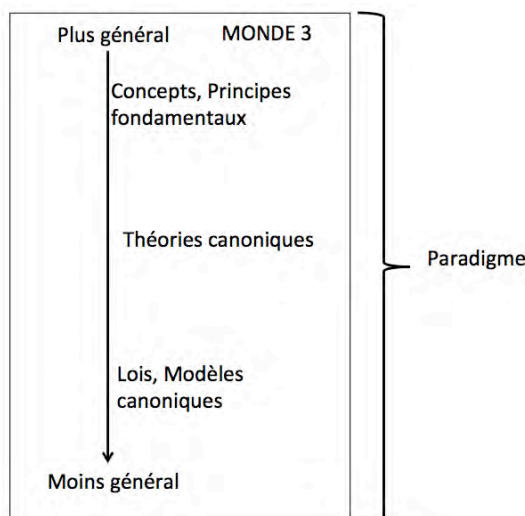


Figure 2.4.5.2.b. : Représentation imagée d'un paradigme

Science normale et science scolaire

Un paradigme actif est l'objet d'ajustements et de raffinements permanents, à mesure des progrès de la recherche. Pour autant, la remise en cause profonde de certains de ses éléments les plus généraux, principes ou concepts, constitue une *rupture épistémologique* (dans le lexique de Bachelard), voire une *révolution scientifique* (dans celui de Kuhn).

Kuhn oppose à ces révolutions les *phases normales* durant lesquelles la science approfondit et enrichit progressivement un paradigme existant.

La science scolaire se cantonne *a priori* à l'acquisition par les élèves de la science normale et n'est pas concernée par les marges et les débats de spécialistes, dont les enjeux sont trop sophistiqués pour être accessibles à des élèves de primaire (voire du secondaire²¹¹).

Pour autant, certaines révolutions scientifiques sont au programme de l'école primaire. Il est par exemple demandé aux élèves de CM1 de connaître la contribution de Copernic et de Galilée à l'évolution des idées en astronomie ce qui est une référence directe aux révolutions copernicienne et galiléenne, amplement analysées par les épistémologues et historiens des sciences.²¹² Mais il ne s'agit que de faire travailler les élèves sur l'aspect historique de révolutions déjà anciennes et « digérées » par la société et la culture commune ("tout le monde sait que la Terre tourne autour du Soleil" !).

210. Notons que le paradigme est un élément social, évolutif, qui inclut aussi bien des objets culturels durables (les concepts, les théories, les modèles historiques fameux) que des objets plus éphémères, comme les exemples-types, les exercices-types favorisés à une période particulière pour aider à leur appropriation.

211. Même si les programmes du lycée abordent sinon les débats scientifiques, du moins certaines questions "socialement vives" liées aux mutations technoscientifiques.

212. Voir par exemple : Thomas S. Kuhn, *La Révolution copernicienne* (*The Copernican Revolution*, 1957) ; éd. Fayard, Paris, 1973.

2.4.6. Stratégies de validation et de remise en cause d'une représentation physique

La validation d'un modèle ou d'une théorie passe par leur confrontation régulière à la réalité physique. Celle-ci reste nécessaire même après qu'ils ont été dûment validés, dans la mesure où, dans les termes de Victor Horst, « un modèle risque de se dégrader en objet dogmatique sans la simulation qui permet de le rectifier et de le reconstruire »²¹³.

Cette confrontation ne peut se faire que sur des cas particuliers, le monde physique ne connaissant que des réalisations particulières. En pratique, ce sont donc des simulations (monde 2) issues de ces modèles et théories qui sont confrontées à des réalisations particulières.

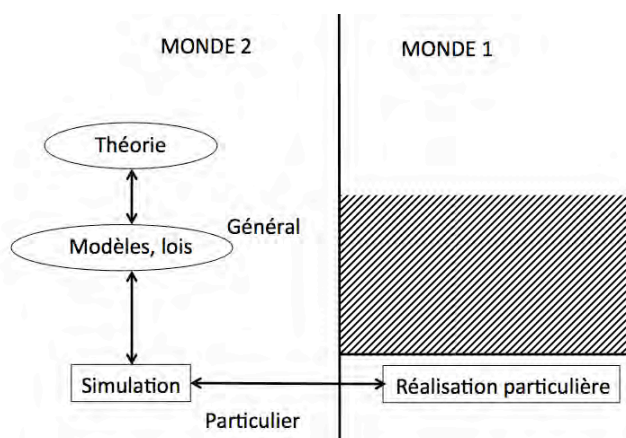


Figure 2.4.6.a. : Confrontation d'une simulation (monde 2) et d'une réalisation particulière (monde 1)

Lorsque la simulation s'avère en adéquation avec le monde physique, tout va bien. Dans la situation où la simulation est issue d'un modèle, cette adéquation peut conforter la validité du modèle et la confiance qu'on lui accorde.

Dans le cas où après confrontation d'une simulation au monde physique on constate une inadéquation, la solution pour obtenir une adéquation entre les deux consiste à modifier cette simulation, le monde physique étant comme il est.

En physique, la plupart des simulations que l'on confronte au monde physique sont le résultat de la levée de généralité d'un modèle ou d'une loi. Une première façon de modifier la simulation consiste, à modèle constant, à optimiser le modèle en ajustant les paramètres, une erreur ayant pu se produire à ce niveau.

Lors de mesures réalisées avec une résistance de valeur R , un expérimentateur prévoit que la représentation de la tension en fonction de l'intensité va être une droite de pente R . Il obtient une droite de pente R' et optimise son modèle en modifiant la valeur de la résistance mesurée.

En cas d'échec de cette procédure, on peut envisager une modification du modèle. Cette modification peut passer par l'intégration de nouveaux paramètres pertinents ou par la conception d'un nouveau modèle, le plus souvent en s'appuyant sur les niveaux de généralité plus élevés (e.g. une même théorie).

Lors d'un travail sur les équilibres, des élèves formulent la loi $m_1 d_1 = m_2 d_2$ et dans un premier temps négligent le poids de la barre sur laquelle sont posés les poids à l'équilibre (cf. fig. 2.5.1. pour un schéma du montage). Pour continuer

213. V. Host, « Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques », op. cit., p. 204.

d'appliquer cette loi avec un pivot qui n'est pas posé au centre de la barre, ils sont conduits à intégrer à leur modèle les poids des morceaux de la barre de part et d'autre du pivot et les distances de leurs centres de masse au pivot.

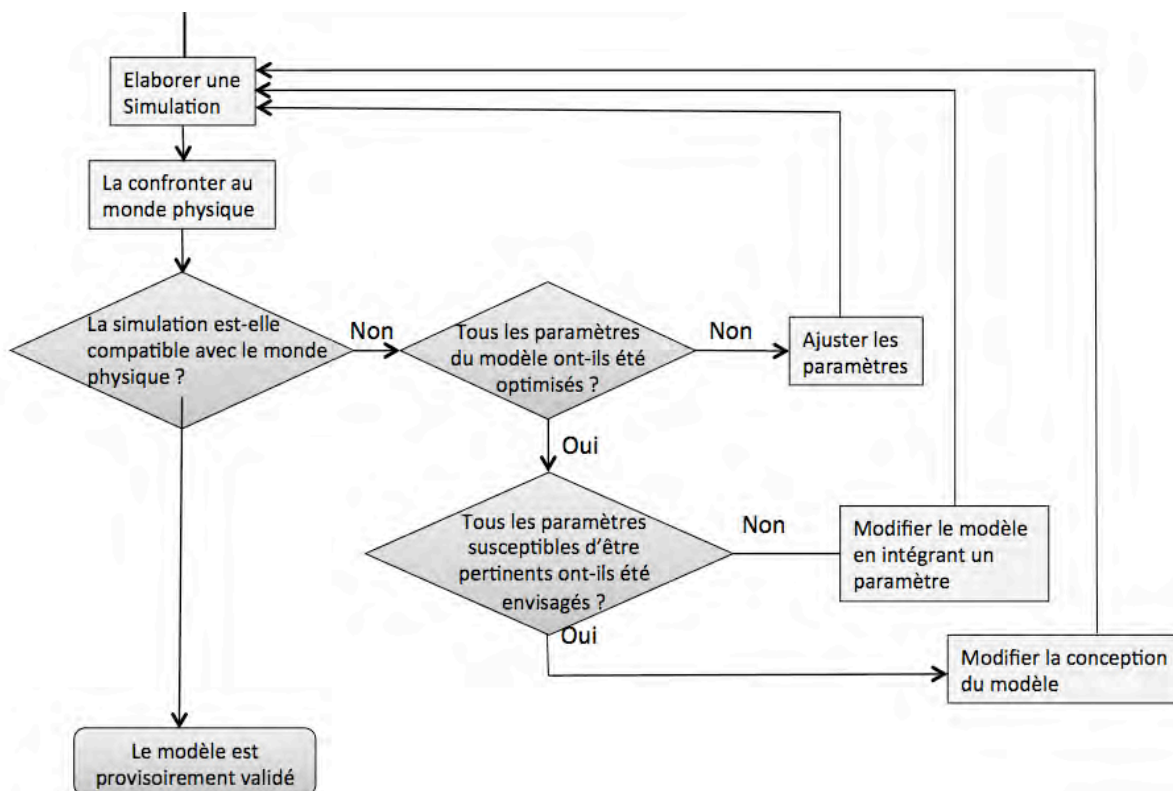


Figure 2.4.6.b. : Organigramme de validation d'un modèle

À l'école primaire, on ne dépassera *a priori* jamais ce stade. Pour le chercheur, il arrive toutefois que la révision des modèles qu'il emploie s'avère insuffisante pour résoudre le conflit, il faut remettre en cause un élément de plus grande généralité. C'est alors sur les théories que l'on opère des modifications. Le premier test de la nouvelle théorie est la création de nouveaux modèles et simulations et leur confrontation aux phénomènes qui ont provoqué les remaniements.

Si malgré tout, les efforts de remaniement des théories s'avèrent vains, ce sont les principes qui sont remis en cause. La remise en cause d'un principe est lourde et c'est la plupart du temps la solution de dernier recours, quand on a d'abord tenté de modifier des objets de plus basse généralité et que l'on a échoué à résoudre la contradiction.²¹⁴

214. Poincaré propose ainsi, en dernier recours, pour sortir de la crise provoquée par les découvertes du début du XX^e siècle, de modifier les principes de la mécanique classique et d'introduire un nouveau principe posant la vitesse de la lumière comme une vitesse infranchissable : « Peut-être aussi devons-nous construire toute une mécanique nouvelle que nous ne faisons qu'entrevoir, où l'inertie croissant avec la vitesse, la vitesse de la lumière deviendrait une limite infranchissable. La mécanique vulgaire, plus simple, resterait une première approximation puisqu'elle serait vraie pour les vitesses qui ne seraient pas très grandes, de sorte qu'on retrouverait encore l'ancienne dynamique sous la nouvelle. Nous n'aurions pas à regretter d'avoir cru aux principes, et même, comme les vitesses trop grandes pour les anciennes formules ne seraient jamais qu'exceptionnelles, le plus sûr dans la pratique serait encore de faire comme si on continuait à y croire. » Henri Poincaré. « L'Avenir de la physique » in *La Valeur de la Science* (1905), éd. Champs Flammarion, 1970, p. 147.

2.4.7. Enjeux didactiques à l'école primaire

L'extrême diversité des techniques scientifiques de représentation du monde physique et celle des contraintes disciplinaires²¹⁵ constituent une difficulté majeure pour la didactique des sciences.²¹⁶

L'école primaire fait heureusement, dans une très large mesure, l'économie des théories²¹⁷ et des modèles très généraux, les programmes se concentrant sur quelques lois et modèles relativement simples. Elle s'adresse en revanche à de jeunes élèves qui *a priori* ne savent pas ce qu'est un modèle et ont tout à apprendre de la navigation entre le monde physique et ses représentations, entre le général et le particulier. C'est donc l'une des missions de l'école primaire que d'initier les élèves à la modélisation²¹⁸.

Or le rapport aux modèles ne va pas de soi. Jean-Louis Martinand²¹⁹ et Andrée Tiberghien²²⁰ en France, Angel Ingham et John Gilbert²²¹ au Royaume-Uni ont été parmi les premiers à insister sur l'attention particulière requise par ces difficultés. Aujourd'hui un consensus semble établi sur l'idée que modéliser cela s'apprend.

La question de l'âge à partir duquel il est possible de travailler efficacement sur la modélisation reste en revanche largement ouverte. S'il semble acquis que des élèves de collège sont capables d'apprendre à modéliser,²²² certains auteurs comme R. Duschl considèrent qu'à 8 ans un élève n'est pas encore en mesure d'y parvenir complètement,²²³ quand d'autres comme Catherine Ledrapier l'envisagent pour des élèves de 3 ans²²⁴.

Quel que soit l'âge des élèves considérés et la sophistication des modèles manipulés, des précautions s'imposent si l'on souhaite éviter d'être contreproductif. Ainsi, Jean-Louis Martinand considère que la compréhension de la modélisation passe par la prise de conscience qu'un modèle est hypothétique, modifiable, de pertinence limitée et une représentation de la réalité plutôt que la

215. Voir par exemple pour la biologie J. Svoboda & C. Passmore, « The Strategies of Modeling in Biology Education », *Science & Education*, 2013, vol. 22 (1), pp. 119–142.

216. Host présentait déjà en 1989 un panorama de la question. V. Host, « Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques », *Aster* n°8, pp. 187–209.

217. L'apprentissage de la théorisation étant déjà parfois considéré au niveau du lycée comme trop difficile d'accès aux élèves. Propos d'Andrée Tiberghien, didacticienne de la physique spécialiste de l'enseignement au niveau du lycée, recueillis lors de la conférence « Conceptions de ressources et recherche », *Journées scientifiques DIES*, INRP, 24-25 novembre 2010.

218. Les programmes 2012 incluent en particulier la modélisation du mouvement apparent du Soleil (CM1) et des phases de la Lune (CM2) ainsi que des mouvements de flexion/extension du corps humain (CE2).

219. Jean-Louis Martinand, « Introduction à la modélisation », op. cit., p. 1.

220. Andrée Tiberghien, « Modeling as a Basis for Analyzing Teaching-Learning Situations. », *Learning and Instruction*, 1994, vol. 10 (4), pp. 71–87.

221. A. Ingham & J. K. Gilbert, « The Use of Analog Models by Students of Chemistry at Higher Education Level », *International Journal of Science Education*, 1991, vol. 13 (2), pp. 193–202.

222. W. J. Pluta, C. A. Clark & R. G. Duncan, « Learners' Epistemic Criteria for Good Scientific Models », *Journal of research in Science Teaching*, 2011, vol. 48 (5), pp. 486–511.

223. National Research Council. (2007). *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Richard A. Duschl, Heidi A. Schweingruber et Andrew W. Shouse, Editors. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, The National Academies Press, U.S.A., 2007. p. 76.

224. Catherine Ledrapier. « Le Rôle de l'action dans l'éducation scientifique à l'école maternelle ; cas de l'approche des phénomènes physiques ». Thèse d'état, Ecole normale supérieure de Cachan, 2007, p. 308.

réalité elle-même.²²⁵ Une initiation à la modélisation à l'école primaire qui conduirait des élèves à considérer qu'un modèle est figé une fois pour toute, unique, universel, ou qu'il représente le monde dans sa totalité tomberait dans des écueils identifiés par les didacticiens.

Au delà de l'aspect purement scientifique, ce travail sur la modélisation dépasse largement la formation des physiciens et constitue un enjeu de formation du citoyen. De nombreuses compétences mises en œuvre dans la modélisation scientifique font en effet partie de compétences quotidiennes et citoyennes.

Toutes sortes de situations de la vie courante, de l'évaluation des besoins en chauffage d'une habitation au choix d'un type de crédit nécessitent en effet d'identifier les paramètres pertinents à prendre en compte, à naviguer entre un modèle général (typiquement un jeu d'équations) et la situation particulière simulée, à faire varier des paramètres pour évaluer le choix le plus pertinent.

Plus généralement, *« reconnaître les divergences entre modèles, admettre qu'il n'y ait pas pour un système complexe un seul modèle, meilleur que tous les autres quel que soit le problème à résoudre, être conscient des incertitudes ou des effets de séduction éventuellement pervers des modèles fait désormais partie des exigences du débat critique vis-à-vis des sciences et de leurs usages sociaux. »*²²⁶

2.2.5. OBSERVATION ET EXPERIENCE

Les termes d'expérience et d'observation sont ici envisagés dans une acception "savante", qui s'éloigne notablement de leur sens courant.²²⁷

L'ambition de cette section n'est en aucun cas de présenter un état des lieux général des réflexions sur le statut des observations ou des expériences en physique, que ce soit du point de vue philosophique²²⁸ ou didactique²²⁹. On se contentera de les resituer, comme précédemment, dans une acception pragmatique restreinte et dans le cadre de la théorie des trois mondes.

2.5.1. Expérience

2.5.1.1. Définition

Définition 2.5.1.1.

Une <i>expérience</i> est une interaction entre un sujet et le monde physique explicitement informée par une représentation et documentée.

Il s'agit donc d'un processus composite, caractérisé par l'existence d'au moins un *aller-retour* entre le monde 1 et le monde 2, une représentation ayant pour

225. Jean-Louis Martinand, « Introduction à la modélisation », op. cit., p. 1.

226. Michel Armatte et Amy Dahan Dalmedico, « Modèles et modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », op. cit., p. 284

227. Le dictionnaire de Littré donne aussi pour premier sens d'expérience « acte d'éprouver ou d'avoir éprouvé » et comme second sens « connaissance des choses acquises par un long usage ».

228. Voir par exemple Anouk Barberousse. *L'Expérience*, éditions Flammarion, Paris, 1999.

229. Voir par exemple Guy Robardet & Jean-Claude Guillaud. *Éléments de didactique des sciences physiques*, éditions PUF, Paris, 1997.

origine un phénomène physique. Le fait qu'une expérience soit informée par une représentation nécessite par ailleurs *une extension temporelle* du processus expérimental (par opposition, par exemple, à une simple perception instantanée).

Le point de départ d'une expérience peut aussi bien être une représentation préexistante :

monde 2 -> monde 1 -> monde 2 :

partant d'une représentation initiale, le sujet interagit avec le monde physique pour se forger une nouvelle représentation mieux adaptée

que le monde physique :

monde 1 -> monde 2 -> monde 1 :

partant d'un phénomène physique, le sujet s'en forme une représentation, qu'il confronte au monde physique.

Un produit nécessaire d'une expérience scientifique en est la documentation, c'est à dire un *compte-rendu* ou *a minima* une *mémoire* de l'expérience. La notion de compte-rendu suggérant un échange entre plusieurs sujets, on parlera plutôt de *mémoire* tant qu'on reste²³⁰ dans le monde 2 d'un observateur²³¹. On parlera de *faits d'expérience* pour les éléments établis par l'expérience et dont le sujet a réalisé une représentation factuelle. On retrouve typiquement les faits d'expérience dans la section "résultats" d'un compte-rendu.

Un fait d'expérience n'est donc pas le phénomène physique lui-même, mais sa description par un sujet. C'est une *représentation* d'une partie de l'expérience concernée. Il appartient en premier lieu au monde 2 du sujet expérimentateur, avant, le cas échéant, pour les faits d'expérience les plus importants et les mieux établis,²³² d'être admis dans le monde 3. Sa communication à d'autres sujets peut passer par l'emploi de mots, de symboles, d'images, etc.

Le statut d'une expérience n'est conditionné ni par sa durée (de quelques secondes à la décennie, comme pour l'expérience qui a récemment caractérisé le boson de Higgs au CERN), ni par son envergure (de l'expérience individuelle à celle impliquant des centaines de chercheurs), ni par son niveau ou sa complexité. Jean Piaget identifie ainsi la réalisation d'authentiques expériences par son fils Laurent âgé de 11 mois seulement :

« Laurent est couché sur le dos mais reprend néanmoins ses expériences de la veille. Il saisit successivement un cygne en celluloïde, une boîte, etc. , tend le bras et les laisse tomber. Or il varie nettement les positions de chute : tantôt il dresse le bras verticalement, tantôt il le tient obliquement, en avant ou en arrière par rapport à ses yeux, etc. Lorsque l'objet tombe en une position nouvelle (par exemple sur son oreiller), il recommence deux ou trois fois à le laisser tomber au même endroit, comme pour étudier la relation spatiale. /.../ Dès son douzième mois, Laurent a multiplié ce genre d'expériences avec tout ce qui lui tombait sous la main : mon carnet, des plots, des rubans, etc. Il s'amuse, soit à les faire glisser

230. Cette situation est toutefois provisoire : une expérience purement personnelle et dont les résultats n'aurait aucune vocation à être communiqués, sous quelque forme que ce soit, ne saurait être scientifique (cf. § 5.3.1.2.).

231. On entend ici observateur au sens classique du terme. La théorie quantique de la mesure pose des difficultés supplémentaires que nous n'envisagerons pas ici. On évitera en particulier, autant que possible, le terme d'*observable*.

232. Comme la séparation d'un spectre lumineux par un prisme caractérisée par Newton.

ou tomber, soit à les lâcher dans différentes positions et à différentes hauteurs pour étudier leur trajectoire. »²³³

Un même phénomène, observé par deux sujets différents, qui possèdent leur encyclopédie personnelle et une vision du monde qui leur est propre, peut donc donner lieu à l'élaboration de faits d'expérience profondément différents.

Ainsi T. Kuhn développe l'exemple d'un Grec de l'antiquité qui regarde une pierre se balancer au bout d'une ficelle et y reconnaît le fait d'expérience d'un retour d'un grave à son lieu naturel contrarié par la ficelle, quand Galilée y découvre le fait d'expérience d'un nouveau mouvement naturel, celui d'un "pendule".²³⁴

Le paradigme dans lequel évolue un sujet influe sur sa façon de voir un phénomène. Cet effet de contexte est parfois si fort qu'un observateur partant d'un autre point de vue (ou *a fortiori* l'historien revenant sur des expériences anciennes avec le bénéfice d'un paradigme ultérieur) peut parfois y reconnaître une forme « d'hallucination cognitive »²³⁵.

Ainsi, les faits d'expérience établis par Newton ont pendant longtemps dominé la culture des physiciens. Parmi ceux-ci, la continuité du spectre solaire (1671) que de nombreux physiciens ont continué à voir comme tel jusqu'à ce que Fraunhofer, physicien lui-aussi renommé, affirme qu'il voyait des raies dans le spectre solaire (1814). À partir de là, d'autres physiciens se sont mis eux-aussi à voir ces raies qu'ils ne voyaient pas auparavant dans leurs appareils.

2.5.1.2. Typologie

On distinguera par la suite les expériences « sauvages », pour lesquelles les représentations du sujet sont encore rudimentaires des expériences « contrôlées », associées à des modèles ou à des théories.

Expérience contrôlée

Une expérience contrôlée est une expérience informée par un modèle explicite et dont le sujet expérimentateur contrôle les paramètres qu'il estime pertinent. C'est dans toute la mesure du possible le type d'expérience que l'on mène dans les laboratoires de recherche et c'est l'idéal de celles que l'on mène à l'école.

Expérience « sauvage »

Une expérience sauvage est une expérience réalisée par un sujet ne disposant pas encore d'un modèle opératoire d'un phénomène, qui expérimente « pour voir ce qui va se passer ».

Expérience « cruciale »

Inversement, une *expérience cruciale* est (dans le lexique de Bacon²³⁶) une expérience contrôlée capable de déterminer sans ambiguïté lequel de plusieurs

233. Jean Piaget. *La Naissance de l'intelligence chez l'enfant*, éd. Delachaux et Nestlé, Suisse, 1936, pp. 236-237.

234. Thomas Kuhn. *La Structure des révolutions scientifiques*, op. cit., pp. 167-168.

235. Selon l'expression de Bertrand Saint-Sernin. *La Raison au XX^e siècle*, Seuil, 1995.

236. Francis Bacon, *Novum organum*, 1620.

hypothèses, modèles, théories, voire principes contradictoires peut être considéré comme valide, en disqualifiant tous les autres.

Expérience « pédagogique »

Enfin, on qualifiera d'*expérience pédagogique* une expérience dont le résultat est déjà connu de celui qui la propose, et dont la vocation est soit d'illustrer ce résultat connu, soit d'aider d'autres sujets à dépasser un obstacle épistémologique. Dans le second cas, on fait souvent appel à des expériences contre-intuitives²³⁷.

Courantes à l'école, les expériences pédagogiques se rencontrent également dans d'autres contextes.

Ainsi, le prix Nobel de physique Luis Walter Alvarez n'hésite-t-il pas à tirer sur une citrouille pour démontrer la possibilité anti-intuitive d'un « recul vers l'avant » et disqualifier un argument-clef de plusieurs théories du complot à propos de l'assassinat du Président John Fitzgerald Kennedy.²³⁸

Expériences de pensée

Une *expérience de pensée* est une fiction²³⁹ décrivant une expérience idéale qu'on se trouve dans l'impossibilité de réaliser en pratique, du fait des contraintes souvent extrêmes qu'elle suppose (e.g. : amener un observateur à une vitesse proche de celle de la lumière) et en imaginant les résultats, conformément à un modèle scientifique dont on souhaite éprouver les limites.

Une expérience de pensée peut ainsi mettre en évidence une contradiction interne dans un modèle ou une théorie, et donc permettre d'en cerner les limites ; mais également, parfois, de contraindre un modèle ou une théorie qui n'ont pas encore été développés en déployant un dispositif existant au-delà de ses limites connues.²⁴⁰

Le terme d'expérience de pensée (*Gedankenexperiment*, en allemand²⁴¹) a été popularisé par Albert Einstein, à propos de la théorie de la Relativité, mais on trouve déjà des raisonnements de ce type à la naissance de la science moderne, chez Giordano Bruno²⁴² ou Galilée²⁴³.

237. Voir par exemple, R.-E. Eastes et F. Pellaud, « Un Outil pour apprendre : l'expérience contre-intuitive », *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 2004, vol. 98, n° 866, pp. 1197-1208.

Accessible en ligne : <http://www.lides.unige.ch/rech/rechMuseo/expContreIntui.pdf> (consulté août 2014)

238. L.W. Alvarez, « A Physicist Examines the Kennedy Assassination Film », *American Journal of Physics*, 1974 ; in *Discovering Alvarez*, dir. W.P. Trower, Univ. Chicago Press, 1987, pp. 210-224.

239. En toute rigueur selon la définition 2.6.1.1., ce n'est donc pas une expérience.

240. Ainsi l'expérience de pensée du "boulet de Jules Verne" (également connue sous le nom de "paradoxe des jumeaux de Langevin") permet-elle à Paul Langevin de calculer dès 1910 le battement d'une horloge distante soumise à une forte accélération, anticipant ainsi un résultat majeur de la théorie de la Relativité générale (1916).

241. Notons qu'Ernst Mach emploie le terme dans le sens différent d'une expérience pédagogique idéale, précédant sa réalisation par les étudiants. E. Mach, *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement* (*Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt*, 1883) ; Jacques Gabay éd., Paris, 1987.

242. Giordano Bruno imagine par exemple de lâcher une pierre d'un mât d'un bateau se déplaçant à vitesse constante et de constater son point de chute au pied du mât. Giordano Bruno, *Le Banquet des cendres* (*La Cena de la ceneri*, 1584), éd. de l'éclat, coll. Philosophie imaginaire, Paris, trad. Yves Hersant, 2006, pp. 84-86.

2.5.1.3. Expériences scolaires vs. expériences de recherche

Les expériences menées dans un cadre scolaire sont le plus souvent des expériences pédagogiques, aux résultats prévisibles au moins pour l'enseignant. Même s'ils jouent le jeu d'une démarche d'investigation, les élèves savent bien qu'ils ne sont pas les premiers à faire les expériences qu'ils mettent en place.

Sauf exception, une règle du jeu implicite est qu'une expérience scolaire soit réalisable dans le temps imparti et avec le matériel disponible, le "bon" matériel pour la mener à bien étant le plus souvent déjà préparé sur la table.

Une condition pratique de ce contrat éducatif est donc que l'enseignant ait préalablement personnellement testé le matériel et réalisé l'expérience, au risque sinon de se retrouver face à un phénomène imprévu et de passer d'une expérience pédagogique à une expérience ouverte dont il n'identifie plus forcément les éléments pertinents.

Ces deux conditions sont en revanche rarement réalisées au début d'une recherche expérimentale, dont on ne sait jamais quel temps elle prendra, les expérimentateurs professionnels consacrent en pratique un temps considérable à trouver et optimiser les conditions pour "faire marcher" une expérience, et à réunir (ou à concevoir) le matériel nécessaire, sans garantie aucune qu'elle "marchera", ni même qu'ils seront capables d'interpréter correctement son résultat, en l'absence de référence préalable.

2.5.2. Observation

Ainsi définie, une expérience peut se décomposer en processus élémentaires ("aller" et "retour"). On peut également considérer uniquement le processus élémentaire :

monde 1 -> monde 2

qui consiste pour un sujet à créer une représentation (M2) du monde physique (M1) à partir d'une interaction avec celui-ci, qu'on définira comme une observation. On peut noter que si toute expérience implique au moins une observation, toute observation ne participe pas nécessairement d'une expérience.

Définition 2.5.2.1.

Une <i>observation</i> est une interaction délibérée entre un sujet (observateur) et le monde physique, dont un produit est un compte-rendu ou une mémoire d'un événement.

Selon les définitions 2.5.1.1. et 2.5.2.1., si une observation ne constitue pas une expérience, une expérience inclut en général une ou plusieurs observations.

Cette définition distingue le processus d'observation du *compte-rendu* d'une observation.

243. Galilée imagine le mouvement de mouches dans la cale hermétique d'un navire se déplaçant à vitesse constante pour en déduire qu'un observateur ne peut se rendre compte du déplacement du navire en les observant. Galilée, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, 1632), éd. Seuil, coll. Points Sciences, Paris, trad. René Fréreau et François de Gandt, 1992, pp. 316–317.

Comme pour l'expérience, et à plus forte raison encore, la définition 2.6.2.1. ne conditionne en aucune façon le statut d'une observation à son niveau ou à sa complexité. Même à l'école maternelle, la contrainte de documentation de l'observation peut être satisfaite par un travail de verbalisation des actions ou de réflexion sur l'effet des actions des élèves sur le matériel.

Une observation nécessite une interaction délibérée entre un sujet et le monde physique (e.g. regarder quelque chose et choisir de le prendre en compte). En cela, elle se distingue de la simple perception, qui peut être involontaire, voire inconsciente. L'obligation de documentation, ou au minimum de mémorisation d'une observation la distingue également d'une activité de pure distraction, même lorsque une curiosité consciente en est le moteur.

Il peut donc arriver à l'école primaire, et plus particulièrement à l'école maternelle, que dans le cadre de la "découverte du monde", des élèves interagissent avec le monde physique sans pour autant réaliser d'observations *stricto sensu*. C'est typiquement le cas lorsqu'un enseignant fournit du matériel à de jeunes élèves et les laisse le manipuler librement.

Il n'est pas rare que dans un premier temps un enseignant de maternelle laisse des jeunes élèves jouer en toute liberté avec un bac de sable ou d'eau sans intervenir. Il s'agit alors souvent de les familiariser avec le matériel et de leur fournir un premier vécu sensoriel. L'observation à proprement parler vient ensuite avec une attention portée à certains phénomènes par l'enseignant ou les élèves eux-mêmes.

Une observation peut passer par la manipulation d'un appareillage plus ou moins complexe.²⁴⁴ En physique classique du moins, l'observation d'un phénomène ne le perturbe pas si elle est menée avec un soin idéal. C'est toutefois rarement le cas en pratique, en particulier à l'école primaire dont les jeunes élèves, parfois peu adroits de leurs mains, sont par ailleurs susceptibles de modifier involontairement un phénomène en tentant de le mesurer (e.g. perturber un équilibre en posant une règle sur le levier).

2.2.6. REPRESENTATIONS DE MONDES IMAGINAIRES

La section 2.2.4. traitait des simulations et des modèles explicitement associés à un référent du monde physique (monde 1). Les définir comme autant de fictions permettait de souligner la distinction essentielle entre la carte et le territoire,²⁴⁵ le modèle et son référent.

Cette distinction perd de sa limpidité lorsque le référent relève lui-même d'un monde imaginaire : le modéliser, c'est alors bâtir une fiction secondaire sur une fiction. Cette situation est pourtant fréquente à l'école, en particulier avec les plus jeunes enfants, dont l'expérience personnelle du monde physique est limitée et dont l'imaginaire est nourri de contes et d'histoires, lues ou vues à la télévision, etc.

244. Un appareil enregistrant des informations sans intervention d'un sujet ne réalise pas une observation. Lorsque les images d'une caméra de vidéo-surveillance ne sont pas regardées et sont supprimées après quelques jours, il n'y a pas d'observation. Il y a observation lorsque quelqu'un décide de les visionner ou de les traiter.

245. Pour reprendre la métaphore d'Alfred Korzybski, in *Science & Sanity. An Introduction to Non-Aristotelician Systems and General Semantics*, op. cit.

S'il serait, par construction, absurde de questionner un monde imaginaire sous l'aspect de sa *vérité*, il est en revanche possible d'en dresser une typologie élémentaire basée sur sa *plausibilité*, physique en particulier.²⁴⁶ On qualifie ainsi de "mimétiques" les mondes imaginaires qui présentent les mêmes caractéristiques générales que la réalité consensuelle, y compris du point de vue de l'ensemble des lois physiques.²⁴⁷ Inversement, on parle de mondes imaginaires "non mimétiques" lorsque ceux-ci font intervenir des éléments clairement²⁴⁸ étrangers à la réalité consensuelle, qu'il s'agisse d'y rendre la magie opératoire (comme dans nombre d'histoires de *fantasy*), de pousser à leur limite des hypothèses scientifiques non vérifiées (comme le font volontiers les auteurs de *hard science fiction*²⁴⁹) ou encore de bâtir un monde sur des lois entièrement distinctes de celles du monde physique (comme on le rencontre fréquemment dans des jeux vidéo ou des univers virtuels comme *Second Life*²⁵⁰).

Lorsqu'on s'intéresse à une *histoire* c'est à dire à la narration d'une succession d'événements interdépendants dans un monde imaginaire, les théoriciens de la littérature parlent volontiers de *diégèse*. On qualifiera donc de *diégétique* les éléments relatifs à cet univers. En particulier, les lois diégétiques seront celles qui s'appliquent dans le monde de la diégèse.

On se limitera ici aux mondes imaginaires obéissant, en apparence du moins, aux mêmes lois physiques que la réalité consensuelle, sans s'arrêter toutefois aux conventions littéraires aisément identifiables en tant que telles²⁵¹ (e.g. animaux habillés et doués de parole, etc.). Questionner la plausibilité d'un tel monde revient alors à s'assurer de la conformité des lois physiques impliquées dans la fiction — ou, en termes plus accessibles aux enfants, à se demander si « on peut faire comme dans l'histoire », ce qui peut passer par un travail de simulation ou de modélisation.

246. Éric Picholle, « Science et fiction spéculative : les jeux du plausible » in *Science et fictions à l'école : un outil transdisciplinaire pour l'investigation ?* dir. E. Blanquet & É. Picholle, Nice, éd. du Somnium, 2011. pp. 39–51.

247. Une subtilité supplémentaire apparaît lorsque ces lois ne s'appliquent pas de la même façon à tous. Ainsi, le monde virtuel que constitue la « matrice » éponyme du film *Matrix* est-elle régie par les lois physiques habituelles pour ceux qui y croient mais pas pour les « agents » ou les héros qui n'y croient pas (*Matrix*, Andy et Lana Wachowski, 1999. Voir à ce propos, *Matrix : Machine philosophique*. Alain Badiou, Élie During, Patrice Maniglier, Thomas Benatouil, David Rabouin et Jean-Pierre Zarader. éd. Ellipses Marketing, 2003).

248. Quoique de façon plus ou moins ostensible, la confusion contrôlée et ludique entre ces univers virtuels et le monde physique étant devenue une thématique majeure de la science-fiction d'inspiration dickienne (e.g. P.K. Dick, « De mémoire d'homme » (« We Can Remember It For You Wholesale », 1966), adaptée au cinéma par Paul Verhoeven (*Total Recall*, 1990)).

249. Éric Picholle, « Trois fonctions littéraires de la *hard SF* : rupture, transmission et création » in *Imaginaires scientifiques et hard science fiction*, dir. U. Bellagamba, É. Picholle & D. Tron, Nice, éd. du Somnium, 2012. pp. 97–114.

250. Où il n'est pas rare de rencontrer par exemple des pierres flottant dans les airs. Voir par exemple le Noomuseum créé par l'artiste Yann Minh sur *Second Life* : <http://slurl.com/secondlife/Cimarac/246/82/23>

Site de Yann Minh : <http://www.yannminh.org> (consulté août 2014)

251. Les enfants dès l'école maternelle identifient sans difficulté de telles conventions littéraires. Voir par exemple Wooley, J. & Cox, V. (2007). Development of Beliefs about Storybook Reality. *Developmental Science*, vol. 10(5), pp. 681–693.

2.6.1. Modèles d'un monde imaginaire

Dans la mesure où nous avons défini les termes de *simulation* et de *modèle* en relation avec le monde physique, nous préciserons systématiquement « d'un monde imaginaire » / « de tel monde imaginaire » lorsque leur référent ne sera pas le monde physique. Sous cette réserve, les définitions établies dans la partie précédente (déf. 2.4.2.2. & 2.4.3.) se déclinent facilement.

Dans les mondes imaginaires pour lesquels les lois du monde physique semblent s'appliquer, certains éléments ou phénomènes diégétiques sont associables à des éléments et phénomènes analogues du monde 1.

Un modèle analogique de tels éléments ou phénomènes du monde imaginaire est alors envisageable. Ce modèle a alors un référent dans le monde imaginaire et un analogue dans le monde 1.

Dans l'histoire de *Plouf* !²⁵² par exemple, un élément central de l'histoire est un puits (le référent fictionnel) dont il est aisé de trouver un analogue dans le monde physique (e.g. un puits de ferme). On peut alors choisir de modéliser le puits de l'histoire en isolant certains éléments comme la corde, la poulie et de quoi la supporter, comme l'on modéliserait un puits réel.



Figure 2.6.1. : à gauche , le puits de Plouf ! ; au centre, un puits réel ; à droite, un modèle analogique du puits diégétique de Plouf !

Certains auteurs n'hésitent d'ailleurs pas à s'appuyer sur des modèles scientifiques (voire des théories) pour construire la structure de leur monde imaginaire.²⁵³ Il est alors envisageable d'utiliser des modèles scientifiques comme modèles du monde imaginaire. C'est typiquement le cas d'auteurs de *hard science fiction* comme Greg Egan qui s'appuie explicitement sur des modèles issus de la physique relativiste ou quantique pour construire ses mondes imaginaires.²⁵⁴

252. Philippe Corentin. *Plouf !* Ed. Ecole des loisirs, 1991.

253. D'autres en revanche considèrent que « l'auteur de science-fiction n'est limité ni par les théories couramment admises, ni par l'opinion populaire ; il doit seulement respecter les faits établis. [...] Un auteur de science-fiction honnête est tout aussi loyal vis-à-vis des faits [qu'un scientifique] ; mais au-delà, les chemins de l'auteur et du scientifique divergent, car leurs fonctions sont différentes. La règle pragmatique de la moindre hypothèse, aussi utile qu'elle puisse être à la recherche organisée, est aussi peu fonctionnelle en matière de fiction spéculative qu'un chaperon durant une lune de miel ». R.A. Heinlein, « Grandeur et misères de la science-fiction » (« Science fiction : Its Nature, Faults and Virtues », 1957) ; in Robert Heinlein et la pédagogie du réel, actes des 1^{ères} Journées interdisciplinaires sciences & fictions de Peyresq, éd. Somnium, Nice, 2008, pp. 122-160.

254. e.g. *Incandescence*, éd. Gollancz, 2009. Greg Egan fournit par ailleurs sur son site le détail des théories et modèles utilisés pour la construction de ses histoires, calculs et simulations numériques à l'appui. <http://gregegan.customer.netspace.net.au/> (consulté août 2014).

2.6.2. Simulations d'un monde imaginaire

Comme pour les modèles, la définition d'une simulation du monde physique (déf. 2.4.2.2.) s'adapte facilement aux mondes imaginaires. Ainsi, on définira une *simulation d'un monde imaginaire* comme une fiction (secondaire) rendant compte d'une réalisation particulière d'un monde imaginaire, d'une partie de celui-ci ou d'un phénomène qui s'y déroule.

En particulier, on peut obtenir des simulations analogiques d'un monde imaginaire en fixant tous les paramètres d'un modèle analogique du même monde, comme c'était le cas dans le monde physique.

Par exemple, si l'on s'intéresse au phénomène de montées et descentes des personnages de l'histoire de *Plouf !*, on peut concevoir un modèle analogique du phénomène imaginaire. Il inclut un modèle du puits et des personnages de l'histoire. Le choix du matériel utilisé pour les personnages et le puits et une position particulière des personnages dans le puits fixent l'ensemble des paramètres de ce modèle. On obtient alors une simulation analogique du monde imaginaire.



Figure 2.6.2. : La descente du cochon dans le monde imaginaire de l'album *Plouf !* de Philippe Corentin (à gauche) et sa simulation analogique (à droite)

2.3. Éléments de scientificité

2.3.1. SYNTHÈSE DU CORPUS HISTORIQUE ET EPISTEMOLOGIQUE

3.1.1. Corpus historique

3.1.1.1. Naissance de la physique aristotélicienne

Si les interrogations sur les lois de la Nature sont probablement aussi anciennes que l'Humanité elle-même, l'idée d'un type de connaissance particulier, qu'au risque de l'anachronisme on pourrait aujourd'hui dire "scientifique", dans un sens encore assez lâche, remonte à Aristote. Dans le *Théétète*, Platon nous montre encore l'élève de Socrate reconnaissant le calcul, la géométrie ou l'astronomie pour des sciences, mais au même titre que « *la cordonnerie, ainsi que les techniques des autres artisans* »²⁵⁵. Pour Platon lui-même, si les mathématiques constituent le modèle de toute science, c'est pour mieux permettre au philosophe-roi de raisonner sur des questions morales ou politiques, comme dans le livre VI de la *République*. De même, si des principes d'ordre physique (sur le caractère fini ou infini, déterministe ou contingent du Monde) sont à la base des systèmes stoïcien et épicurien, la physique *stricto sensu* y tient une place relativement mineure.

Aristote, en revanche, s'intéresse de très près aux sciences de la nature. Pour lui, une connaissance est assurée lorsqu'on peut la dériver par le raisonnement de *principes*, idéalement de "premiers principes" qui sont autant de vérités universelles. Son enseignement est donc volontiers axiomatique, et la démarcation entre science et non-science (ou connaissance assurée ou non) réside dans le caractère démontrable (ou *apodictique*, par opposition aux incertitudes de la *dialectique*) de ses propositions. Toute démonstration devant par ailleurs répondre à des règles strictes de *logique*, une condition immédiate de l'apodicticité d'un discours est sa **cohérence interne**.

Aristote ne distingue pas entièrement la *réalité* de la *vérité*.^{256,257} Pour autant, les premiers principes, pour lui, ne sont pas donnés ou révélés, mais *dévoilés*, construits par induction à partir, en dernière analyse, des sensations, qui permettent à l'homme d'analyser ses expériences. Malheureusement, constate Claude Ptolémée, le dernier savant majeur de l'Antiquité, « *à cause de l'instabilité et de l'impénétrabilité de la matière, qui rend illusoire l'espoir de jamais*

255. Platon, *Théétète*, éd. Garnier Flammarion, Paris, trad. Michel Narcy, 1999.

256. Aristote confond les deux concepts dans le terme unique *alètheia* (étymologiquement, "ce qu'on ne peut oublier") que Heidegger préfère rendre par "dévoilement" ; voir par exemple l'analyse de ce terme dans *Être et temps* (*Sein und Zeit*, 1927), où il explique comment la métaphore platonicienne de la caverne, visuelle, repose encore largement sur la notion de vérité comme pur "dévoilement", avant d'évoluer, avec Aristote, vers celle de "vision correcte".

257. Paradoxalement, la distinction est plus claire dans la *Poétique* que dans la *Physique* ou la *Logique*. En effet, il y y distingue clairement le *récit historique*, dont la vocation est de dire ce qui a effectivement été, dans un cas particulier donné, de la *littérature*, à laquelle il affecte la tâche de lui donner un sens général, sinon universel. Pour Aristote, « *Le rôle du poète est de dire non pas ce qui a réellement eu lieu mais ce à quoi on peut s'attendre, ce qui peut se produire conformément à la vraisemblance ou à la nécessité.* » Aristote, *La Poétique*, 9, 451ab ; éd. Mille et une nuits, 1997. Voir par ex. É. Picholle, « Trois fonctions littéraires de la *hard SF* : rupture, transmission et création », in *Hard science fiction et imaginaires scientifiques*, dir. U. Bellagamba, É. Picholle & D. Tron, éd. Somnium, 2013, pp. 97–113.

réaliser l'unanimité parmi les philosophes », la physique ne peut être considérée que comme une science conjecturale ; « seule la mathématique, à condition de la pratiquer avec rigueur, offre à ses adeptes un savoir solide et indubitable »²⁵⁸. La science est en effet une **construction collective**,²⁵⁹ que le savant se doit de « tenter sans relâche de fortifier, d'abord en étudiant les découvertes faites par les savants qui se sont lancés dans cette recherche avec zèle et générosité » avant d'apporter sa pierre à l'édifice commun, subordonnant son propre discours à une exigence de **cohérence externe**.

3.1.1.2. Période scolastique

Après une longue éclipse, ce sont les travaux de Thomas d'Aquin qui, après ceux d'Averroès dans le monde arabe, permettent la réappropriation de la science aristotélicienne par le monde chrétien. Sa méthode *scolastique* est toutefois aux antipodes de la science moderne, qui se construira en large mesure *contre* elle. Elle fait en effet la part belle à l'**autorité** des anciens maîtres ; en outre, elle hiérarchise les savoirs, et subordonne non seulement la physique à la philosophie (elle-même subordonnée à la théologie), mais la réalité physique elle-même, qualifiée de *réalité inférieure*, aux réalités d'ordre supérieur (réalités mathématique, théologique, angélique, etc.).

A contrario, la science moderne s'inspirera donc plutôt des contradicteurs de Thomas, au premier rang desquels, selon Pierre Duhem, l'évêque de Paris Etienne Tempier. Combattant paradoxalement l'autorité par l'autorité, celui-ci récuse au nom même de la toute-puissance divine toute limitation *a priori* du champ des possibles, et affirme l'**autonomie de la physique** par rapport aux préjugés philosophico-théologiques²⁶⁰.

Une autre réaction majeure à la *Somme théologique* de Thomas fut celle de Roger Bacon, souvent considéré comme un inspirateur de l'empirisme anglosaxon. En termes de méthode, Bacon distingue les questions spirituelles auxquelles, dans la tradition augustinienne, on accède directement par la voie mystique, et les questions scientifiques, relatives aux choses sensibles, auxquelles on accède par l'expérience physique. Pour celles-ci, il affirme donc la **primauté de l'expérience**, dans la tradition aristotélicienne, mais en renonçant *a priori* à remonter aux premiers principes.

S'il n'y a pas à proprement parler de philosophie d'Etienne Tempier (sinon négative, par contraposition des propositions interdites), nombre de celles-ci (et particulièrement celles d'inspiration épicurienne) sont reprises, sous une forme positive, dans celle de Guillaume d'Ockham, qui introduit un **principe d'économie** (i.e. : éviter autant que possible de multiplier les hypothèses inutiles). Guillaume d'Ockham est par ailleurs l'un des premiers tenants du *nominalisme* épistémologique : pour lui, il convient de **distinguer l'objet**

258. Claude Ptolémée, *Syntaxe mathématique* ; repris in Germaine Aujac, *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe*, éd. du CTHS, Paris, 1993, pp. 201–202.

259. Pour G. Aujac, le titre grec de cette œuvre (*syn-taxis*, littéralement *ordonner ensemble*), rend mieux compte que celui d'*Almageste*, qu'a retenu la tradition arabe, du "sens de l'unité du savoir" caractéristique de la conception ptoléméenne de la science.

260. Parmi les 219 propositions visées par la Condamnation parisienne de 1277, on trouve par exemple la proposition 24 : « Toutes les sciences sont dépourvues de nécessité, exception faite des disciplines philosophiques, et les sciences ne sont pas nécessaires, si ce n'est à cause de l'habitude des hommes ».

physique de ses représentations, et en particulier du *mot* qui le représente (qui est une *fiction*).²⁶¹

3.1.1.3. Période copernicienne

En science comme en art, le propre des XV^e et XVI^e siècles est une ambition de “renaissance”,²⁶² la revendication que les Modernes peuvent non seulement égaler, mais aussi dépasser les Anciens et avoir raison contre eux. La période est riche de grands inventeurs et technologues, au premier rang desquels Francesco di Giorgio Martini et Léonard de Vinci, dont les *carnets d'ingénieurs* démontrent une volonté de **documentation exhaustive** de leurs expériences et de leurs idées et posent les bases du dessin technique (coupes, écorchés, etc.). Inversement, des expérimentateurs comme Bernard Palissy revendiquent hautement la **reproductibilité** des résultats, voire leur redécouverte,²⁶³ contre les **secrets** d'atelier.

Une autre mutation majeure est rendue possible par le perfectionnement par Gutenberg des techniques d'imprimerie et l'explosion aussi bien du nombre d'ouvrages publiés que de leur tirage, qui permettent la multiplication des bibliothèques universitaires et privées et induisent de nouvelles normes de **documentation** et de **transmission** des idées et des résultats scientifiques.

C'est aussi le moment de la “révolution copernicienne”. En termes de méthode, la principale originalité de Copernic est la revendication d'un **principe de simplicité** permettant de préférer son propre modèle du système solaire, prétendument plus simple,²⁶⁴ à celui de Ptolémée.

Un autre archétype de « l'homme de la Renaissance » est Giordano Bruno, brillant physicien dont les intuitions anticipent souvent la physique galiléenne, mais si brutal dans ses provocations qu'il en devient un contre-exemple, un archétype de “non scientifique”, du fait à la fois de son incapacité à communiquer avec ses pairs, en dépit de ses nombreux livres, et de son mélange résolu de questions physiques, “magiques” et théologiques, qui le mènera sur le bûcher de l'Inquisition, le 17 février 1600.

261. « La tendance à créer des êtres fictifs en vue d'une explication est si fortement enracinée en nous qu'il a fallu se prémunir contre elle par un énoncé spécial. C'est là en effet, à ce qu'il nous semble, le véritable sens (du moins dans le domaine scientifique) du fameux “rasoir d'Ockham” qui interdit de créer des êtres au-delà de ce qui est nécessaire. ». Emile Meyerson, *De l'Explication dans les sciences*, éd. Payot, Paris, 1921, p. 74.

262. Ce n'est qu'au XIX^e siècle que le terme de Renaissance sera consacré (par Jules Michelet, dans l'ouvrage éponyme) pour désigner la période.

263. Le céramiste Bernard Palissy brûlant son mobilier pour alimenter la fournaise dans laquelle il expérimentait des techniques de fabrication de porcelaine a longtemps été présenté comme un symbole de la détermination scientifique, sacrifiant tout à son but. Ses contemporains, comme Agrippa d'Aubigné, en forgent la légende dorée ; mais il deviendra également par la suite une figure tragique, inspirant par exemple à Balzac la figure du savant fou de *La Recherche de l'absolu*.

264. La simplicité relative des deux modèles dépendant bien sûr du problème considéré. Ainsi, si l'orbite de Mars est assurément plus simple à décrire dans un cadre copernicien, le calcul des marées l'est bien plus dans un modèle géocentrique. Pour Kuhn, même si « le système de Copernic doit sembler le plus économique à un astronome intéressé uniquement par une explication qualitative du mouvement des planètes (...) cette économie apparente [est] en grande partie illusoire [et] une victoire de la propagande » ; T. Kuhn, *La Révolution copernicienne* (*The Copernican Revolution*, 1957), éd. Fayard, 1973, p. 200.

3.1.1.4. Période galiléenne et cartésienne

L'un des principaux enjeux du début du XVII^e siècle sera donc la **séparation de la religion et de la science**. De la condamnation du système copernicien en 1616 à celle de Galilée en 1633, l'Eglise tente d'imposer son droit de regard sur les idées scientifiques. Elle sera toutefois débordée dans la seconde moitié du siècle par leur démocratisation rapide, rendue possible, en particulier, par les idées de René Descartes, dont le *Discours de la méthode*, publié en français, constitue l'ouvrage paradigmatique²⁶⁵. Réciproquement, pour le scientifique *en tant que tel*, dont le discours doit **véhiculer des connaissances spécifiques**, « *il ne faut s'occuper que des objets dont notre esprit paraît capable d'acquérir une connaissance certaine et indubitable* », ²⁶⁶ à l'exclusion en particulier des querelles philosophico-théologiques.

Le modèle explicite de la méthode cartésienne est de nouveau la mathématique, pour la démontrabilité de ses théorèmes, mais aussi pour la simplicité formelle de ses équations, dont peuvent bénéficier les modèles de la physique théorique, sous réserve de **cohérence formelle**. Pour Galilée, l'Univers peut même être considéré comme un « *livre gigantesque écrit en langage mathématique* »²⁶⁷.

L'élargissement de la communauté scientifique et la multiplication des académies scientifiques, locales ou nationales, encouragent par ailleurs la reproduction fréquente des expériences et le test de leur **robustesse**, ainsi qu'une forme de normalisation de leur **documentation** et de la **communication** de leurs résultats, avec l'apparition progressive d'une langue scientifique attentive à la **cohérence lexicale** autant que **symbolique**.

Ces tendances sont définitivement consacrées dès la fin du XVII^e siècle, avec le triomphe de la théorie newtonienne de la gravitation, mais aussi le progrès de la rigueur expérimentale, avec des figures comme, en France, Blaise Pascal et surtout, en Angleterre, Robert Hooke. Ce dernier, pur expérimentateur, reproduit ainsi chaque semaine, pour la *Royal Society* de Londres, les expériences les plus notables et **opportunes** du moment. Avec le perfectionnement de nouvelles techniques d'observation apparaissent également les notions d'expérience contrôlée, voire *cruciale*,²⁶⁸ et de **maîtrise de l'instrumentation**²⁶⁹.

265. Publié en 1637, *Le Discours de la méthode* inclut non seulement le *Discours* proprement dit, mais aussi des manuels de géométrie, d'astronomie et d'optique, qui permettent à tout un chacun de se former à la science et de se donner les moyens de s'appropriier aussi bien les grands débats de l'époque (la querelle copernicienne) que des technologies de pointe (la lunette d'approche). Il fait pièce aux *Méditations métaphysiques*, du même auteur, publiées en latin en 1641, à l'usage des clercs de la Sorbonne.

266. René Descartes, *Règles pour la direction de l'esprit*, 1628 ; in *Œuvres & lettres*, Gallimard, coll. Pléiade, 1953 (deuxième règle, p. 32).

267. « *La philosophie est écrite dans ce livre gigantesque qui est continuellement ouvert à nos yeux (je parle de l'Univers), mais on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à comprendre la langue et à connaître les caractères dans lesquels il est écrit. Il est écrit en langage mathématique, et les caractères sont des triangles, des cercles, et d'autres figures géométriques, sans lesquelles il est impossible d'y comprendre un mot. Dépouvé de ces moyens, on erre vainement dans un labyrinthe obscur.* » Galilée, *L'Essayeur* (*Il Saggiatore*, 1623), éd. Belles Lettres, Paris, 1989.

268. L'expression « expérience cruciale » est forgée par Hooke et reprise et popularisée par Newton. L'idée d'une situation capable de départager des théories aux prédictions contradictoires avait en

L'introduction de nouveaux outils mathématiques adaptés à la physique, comme le calcul différentiel, permet à Newton de concrétiser l'idéal galiléen d'une mécanique effectivement prédictive dans des situations non triviales. Il revendique pour cela une méthode *inductive* (par opposition à celle, supposément *déductive*, de Descartes), en refusant de « *bricoler dans l'hypothèse* »²⁷⁰ pour justifier les principes généraux qu'il établit autrement que par leur efficacité — c'est-à-dire par leur pouvoir prédictif, dans une constante **navigation entre le particulier et le général**.

Même si Newton lui-même fait peu d'efforts de communication,²⁷¹ la formalisation de la physique qui s'ensuit et le consensus qui s'établit sur les théories newtoniennes permettent par ailleurs une relative stabilisation des concepts (e.g. de force, d'accélération) et du vocabulaire, et l'élaboration d'une **langue scientifique univoque**.

Promu en particulier par les Lumières, qui y ajoutent une **ambition encyclopédique**, le paradigme newtonien embrasse la science du XVIII^e et apparaît pratiquement incontesté jusqu'au tournant du XX^e. Au début du XIX^e siècle, un Pierre-Simon de Laplace peut imaginer une physique "positive", entièrement déterministe, symbolisée par le "démon de Laplace", qui « *n'a pas besoin de l'hypothèse* » d'une intervention divine pour asseoir la stabilité de son *Système du monde* (au contraire de celui de Newton).

3.1.1.5. Période newtonienne

La question de la démarcation ne se pose désormais plus entre science et religion, mais entre pratiques scientifiques et non scientifiques. Les penseurs *positivistes*, comme Auguste Comte, réaffirment le **renoncement à la recherche des causes premières**, caractéristique pour eux de "l'âge positif", hiérarchisent les sciences des plus abstraites (les mathématiques, l'astronomie) aux plus concrètes et appliquées (la sociologie politique) et entreprennent de généraliser la **méthode hypothético-déductive** à toutes les disciplines, y compris les sciences sociales et politiques,²⁷² dont la seule vocation serait la

particulier été développée par Francis Bacon dans le *Novum organum* (1620). Lisa Jardin, *The Curious Life of Robert Hooke. The Man Who Measured London*, éd. Harper perennial, Londres, 2003.

269. Si l'importance de l'instrumentation pour la science moderne était une évidence au moins depuis *Le Messager des étoiles* de Galilée (1610), la lunette astronomique restait relativement facile d'emploi. Ce n'était pas le cas des premiers microscopes, et la qualité des splendides observations reportées par Hooke dans *Micrographia* (1665), autre "best-seller" scientifique du XVII^e siècle, passe par un travail conséquent sur l'instrument lui-même, les techniques d'éclairage des échantillons, etc.

270. « *Hypotheses non fingo* » (sur les raisons des lois de la gravitation). I. Newton, *General Scholium*, appendice à la 2^e édition des *Principia Mathematica*, 1713. Notons que, de même que Descartes "avançait masqué" (selon sa devise, *Larvatus prodeo*), Newton cultive une certaine ambivalence à cet égard. Dans des travaux non publiés de son vivant, il justifie son approche de la force de gravitation, présumée immanente, par une réfutation d'ordre théologique des "tourbillons" cartésiens. I. Newton, *De la gravitation*, Gallimard, coll. Tel, 1995.

271. Les *Principia* sont publiés en latin, et les démonstrations mathématiques retranscrites dans le langage moins adapté de la géométrie.

272. Voire les sciences de l'éducation. Mais pour le Comte tardif, qui se veut le "grand prêtre" d'une religion positiviste, « *la connaissance des lois invariables des phénomènes naturels est une grande leçon de soumission* », qu'il convient d'enseigner aux jeunes gens « *non seulement sans entretenir, mais en étouffant, autant que possible, l'esprit d'examen et de discussion. La disposition qui doit être envisagée est celle où l'on accepte toute chose sur l'autorité du précepteur.* » John Stuart Mill, *Auguste Comte et le positivisme* (*Auguste Comte and Positivism*, 1865), éd. Germer Baillères, Paris, 1868, pp. 187–188.

recherche de lois aussi robustes²⁷³ que possible — jusqu'à, comme le Comte tardif, en faire paradoxalement une "religion positiviste".

Le XIX^e siècle est également celui de la révolution industrielle. En France, la Révolution puis l'Empire créent de "grandes écoles", pour enseigner non seulement la théorie, mais aussi les bonnes pratiques, en particulier expérimentales. Dans le même esprit, la communauté scientifique se structure pour lutter contre les **mauvaises pratiques** ou, dans le lexique de Charles Babbage, les *fraudes scientifiques*.

3.1.1.6. Naissance de la physique contemporaine

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, les progrès de la physique mathématique permirent l'apparition de théories hautement formalisées, comme la mécanique rationnelle qui relève traditionnellement autant des mathématiques que de la physique, et éventuellement compatibles avec des *interprétations* très différentes. C'est en particulier le cas de la thermodynamique et des *fonctions d'état* qu'elle manipule (e.g. la température, la pression, l'entropie), qu'on peut ou non interpréter comme des représentations statistiques réduites (ou *variables collectives*) d'un grand nombre de comportement individuels à l'échelle moléculaire. La controverse sur l'existence des atomes qui s'engagea alors entre, d'une part, Ludwig Boltzmann, et d'autre part des thermodynamiciens intransigeants²⁷⁴ comme Wilhelm Oswald se soldera moins par le triomphe des idées atomistes que par la prise de conscience de la **relativité des discours scientifiques**,²⁷⁵ également revendiquée, en même temps qu'un **principe d'économie**, par Ernst Mach dans sa relecture des notions newtoniennes d'espace et de temps absolus, qui ouvrira la voie à la théorie einsteinienne de la relativité générale.

En 1927, la question du formalisme et de son interprétation sera également au cœur de la révolution quantique, qui portera le coup de grâce au scientisme positiviste naïf, en remettant en cause aussi bien la possibilité, au moins en droit, de procéder à toute mesure nécessaire avec toute la précision voulue que l'adéquation du langage naturel à la description du monde physique.

273. Par exemple, écrit Auguste Comte, « la chimie actuelle mérite à peine le nom de science, puisqu'elle ne conduit presque jamais à une prévoyance réelle et certaine. En introduisant, dans des actes chimiques déjà bien explorés, quelques modifications déterminées, même légères et peu nombreuses, il est rarement possible de prédire avec justesse les changements qu'elles doivent produire : et néanmoins, sans cette indispensable condition, comme je l'ai déjà si fréquemment établi dans ce traité, il n'existe point à proprement parler de science ; il y a seulement érudition, qu'elles que puissent être l'importance et la multiplicité des faits recueillis. Penser autrement, c'est prendre une carrière pour un édifice. » A. Comte, *Philosophie Positive*, t. 3, p. 11 (imprimeur Bachelier, Paris, 1838, accessible en ligne sur le site de Hathitrust, digital library : <http://catalog.hathitrust.org/Record/009649197>; consulté août 2014).

274. « Il était complètement impossible d'être entendu à l'encontre d'autorités qui s'appelaient W. Ostwald, G. Helm et E. Mach », se souvient Max Plank ; *Autobiographie scientifique*, p. 82.

275. « L'atomisme n'est pas une mauvaise conception du monde, mais c'est ce concept de conception du monde qui est mauvais. On ne doit pas se lier à des conceptions du monde déterminées ». Ludwig Boltzmann, *Lectures on Natural Philosophy*, 1903-1906 (Principien der Naturphilosophie), Stringer Verlag, Berlin, 1990, p. 295. Cité par Jacques Bouveresse, « La Philosophie naturelle de Boltzmann », *Philosophie Scientiae*, 3, n°2 (1998-1999), pp. 9-30. En ligne : http://archive.numdam.org/ARCHIVE/PHSC/PHSC_1998-1999_3_2/PHSC_1998-1999_3_2_9_0/PHSC_1998-1999_3_2_9_0.pdf (consulté août 2014)

3.1.2. Corpus épistémologique

3.1.2.1. La réaction contre le scientisme positiviste : Bergson et Meyerson

La critique du positivisme d'Auguste Comte sera l'un des principaux ferments de l'épistémologie du XX^e siècle.

En premier lieu, sa devise "*Ordre et progrès*", qui imprègne la seconde moitié du XIX^e siècle à l'échelle internationale, jusqu'à se retrouver en 1889 sur le drapeau de la jeune république brésilienne, s'avère équivoque, entremêlant normes scientifiques et sociales, revendications scientifiques et politiques. En 1901 encore, le prestigieux chimiste Marcelin Berthelot n'hésite pas à expliquer que la science, « *bienfaitrice de l'humanité (...) réclame aujourd'hui, à la fois, la direction matérielle, la direction intellectuelle et la direction morale des sociétés.* »²⁷⁶ La critique la plus immédiate du positivisme, est la récusation de la vision d'une science rigidement organisée. Ainsi, s'impatiente Emile Meyerson :

Ce que rêvait Comte, c'était en effet une véritable organisation, comme la comprennent les partisans de l'autorité ; les croyances du public en matière de science et, plus encore, le travail de recherche des savants eux-mêmes, devaient être strictement réglés et surveillés par un corps constitué, composé d'hommes jugés compétents et armés de toutes les rigueurs du bras séculier. Cette réglementation devait, bien entendu, comme c'est le cas, partout et toujours, de toute réglementation, consister principalement en interdictions, et Comte a tracé d'avance le programme de quelques-unes d'entre ces dernières. Défense de se livrer à des investigations autres que « positives », c'est-à-dire ayant pour objet la recherche d'une loi ; défense de toute tentative visant à pénétrer des problèmes que l'homme, manifestement, n'avait aucun intérêt à connaître et qui, d'ailleurs, pour cette raison même, devaient rester entièrement impénétrables à son esprit, tels que, par exemple, la constitution chimique des astres.²⁷⁷

Notons toutefois que cette liberté revendiquée ne constitue pas à proprement parler, pour Meyerson, un critère de scientificité : celle des recherches *physiques* des positivistes de stricte obédience n'est absolument pas en cause ; elles sont simplement moins fructueuses qu'elles pourraient l'être dans une vision plus ouverte de la science et de la communauté scientifique.

C'est également sur une analyse morale et politique que Henri Bergson fonde le concept de "société ouverte",²⁷⁸ que reprendra Karl Popper²⁷⁹. Si Bergson distingue soigneusement la méthode et le langage de la philosophie de ceux de la science, la société rêvée par les purs scientistes, avec une démarcation claire et univoque entre "science" et "non science",²⁸⁰ dans laquelle serait

276. M. Berthelot, in *Cinquantenaire scientifique de M. Berthelot*, 24 nov. 1901, éd. Gauthier-Villars, Paris, 1902, p. 76.

277. É. Meyerson, *La Déduction relativiste*, 1925 ; J. Gabay éd., Paris, 2000, § 253.

278. Henri Bergson, *Les Deux sources de la morale et de la religion*, 1932 ; P.U.F., coll. Quadrige, Paris, 2008.

279. Karl Popper, *La Société ouverte et ses ennemis (The Open Society and Its Enemies, 1945)* ; éd. Seuil, Paris, 1979.

280. « Rien n'empêcherait d'appeler "science" ou "philosophie", comme on l'a fait pendant longtemps, toute espèce de connaissance » ; H. Bergson, « Introduction à la métaphysique, in *La Pensée et le mouvant*, 1907 ; PUF, coll. Quadrige, Paris, 2013. en ligne : <http://98266429.free.fr/up/1312187569.pdf> p. 98 (consulté août 2014)

automatiquement rejetée toute influence de la morale²⁸¹ ou de la religion, serait pour lui, *a contrario*, l'exemple même d'une société close.²⁸²

À l'opposé de l'épistémologie comtienne, celle de Bergson se veut donc moins normative qu'attentive aux processus favorables à la création, scientifique comme artistique. La connaissance scientifique est, par construction, au service de l'homme, et spécifiquement de l'action humaine. Les analyses correspondantes de *L'Évolution créatrice*²⁸³ inspireront en particulier l'épistémologie génétique développée par Jean Piaget (1950)²⁸⁴.

Bergson comme Meyerson²⁸⁵ sont des archétypes de philosophes en dialogue permanent avec la science de leur temps, et n'hésitent pas à publier, au moment même où ces jeunes théories sont discutées par les physiciens, leurs idées sur la Relativité ou la mécanique quantique.²⁸⁶

3.1.2.2. Empirio-criticisme et conventionnalisme

Une autre critique puissante du positivisme concerne la notion même de *fait scientifique objectif*. Ainsi, tout en revendiquant, comme Comte, des sciences physiques exclusivement fondée sur des phénomènes observables, dans une posture résolument « anti-métaphysique », Ernst Mach (1896) remet profondément en cause la conception positiviste naïve d'une mesure idéale, parfaitement objective. Pour lui, en dernière analyse, toute mesure se ramène à une observation — par exemple de la position d'une aiguille sur un vernier — qui elle-même est un phénomène à la fois psychique et sensible, indissociable de l'observateur lui-même.²⁸⁷ Par ailleurs, dans la mesure où « *la Nature n'existe qu'une fois* », ²⁸⁸ il ne saurait être question de reproduire *exactement* une expérience, à tous points de vue ; le physicien doit donc se contenter de « *séparer mentalement* » un objet ou un système de son environnement, c'est-à-dire en dernier ressort d'isoler arbitrairement, parmi toutes celles qu'il subit, un jeu de sensations particulières, particulièrement robustes sur lequel il décide de focaliser son attention.

281. Pour une analyse des interrelations complexes qu'entretiennent science et morale chez Bergson, voir par exemple Frédéric Worms, « Entre critique et métaphysique : la science chez Bergson et chez Brunschvicg », in *Les Philosophes et la science*, dir. P. Wagner, op. cit., pp. 403–446.

282. C'est bien sûr plus vrai encore d'une société pré-scientifique : « (...) le non-civilisé, qui ne dispose que d'une science inextensible, taillée à l'exacte mesure de l'action qu'il exerce sur la matière, ne peut pas jeter dans le champ de l'imprévisible une science virtuelle qui le couvrirait tout entier et qui ouvre tout de suite de larges perspectives à son ambition » ; H. Bergson, *Les Deux sources de la morale et de la religion*, op. cit. p. 149.

283. Henri Bergson, *L'Évolution créatrice*, 1907 ; P.U.F., coll. Quadrige, Paris, 2013.

284. Jean Piaget, *Introduction à l'épistémologie génétique*. Tome I: La pensée mathématique, Paris, PUF, 1950.

285. Pour l'anecdote, on peut noter que Meyerson lui-même s'est amusé à composer une courte nouvelle de philosophie-fiction, dans laquelle un érudit d'un lointain futur discute savamment de l'hypothèse selon laquelle Bergson et Meyerson seraient en fait une seule et même personne. E. Meyerson, « Bergson et Meyerson, un conte au sixième millénaire de l'ère vulgaire », in *Mélanges. Petites pièces inédites*, Honoré Champion éd., Paris, 2011, pp. 27–34.

286. e.g. : sur la théorie de la relativité : H. Bergson, *Durée et simultanéité*, 1922 ; P.U.F., coll. Quadrige, Paris, 1998. É. Meyerson, *La Dédution relativiste*, 1925, op. cit. ; sur la théorie quantique : E. Meyerson, *Réel et déterminisme dans la physique quantique*, 1933, Hermann éd., Paris.

287. E. Mach, *L'Analyse des sensations. Le rapport du physique au psychique* (*Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, 1896) ; trad. fr. F. Eggers, éd. J. Chambon, Nîmes, 1996.

288. E. Mach, « On the Economical Nature of Physical Inquiry » ; in *Popular Scientific Lectures* (*Populärwissenschaftliche Vorlesungen*, 1896), Open Court, New York, 1986, pp. 186–214.

Selon Mach,

L'objectif que se sont assigné les sciences physiques est l'expression la plus simple et la plus économique des faits. Lorsque l'esprit humain, avec ses capacités limitées, s'efforce de produire en lui-même une image de la richesse du monde, duquel il n'est lui-même qu'une petite partie, et qu'il ne peut jamais espérer épuiser, il a toutes les raisons de procéder avec économie. En réalité, les lois contiennent toujours moins que les fait eux-mêmes, dans la mesure où elles ne les reproduisent pas dans leur entièreté mais seulement dans les aspects qui nous importent, le reste étant omis, délibérément ou par nécessité.²⁸⁹

Pour Mach, le **principe d'économie**, qui constitue une première forme de darwinisme épistémologique,²⁹⁰ est donc indissociable de la distinction consciente entre le monde physique et ses représentations, que nous qualifierons par la suite de "**recul**".

Au total, cet *empirio-criticisme*²⁹¹ exigeant le conduit à récuser, comme métaphysiques par essence, aussi bien la notion newtonienne d'espace et de temps absolus que les interprétations atomistes de Boltzmann.

Henri Poincaré ne refuse pas, quant à lui, la notion métaphysique de l'espace et du temps comme formes *a priori* de la connaissance (Kant) mais, fin connaisseur des géométries non-euclidiennes, prend acte du fait que l'intuition physico-mathématique repose, à cet égard, sur un *choix* raisonné : les axiomes mêmes de la géométrie ne constituent plus des vérités objectives, mais des *conventions* choisies pour leur **efficacité** et leur **fécondité**, dans un contexte donné. Plus généralement, Pierre Duhem soutient que toute loi scientifique repose sur des choix du même ordre. Pour eux, tout principe physique ou mathématique est donc fondé en dernière analyse sur des conventions, admises dans un contexte²⁹² scientifique donné, et testable seulement dans ce contexte. Cette approche est souvent qualifiée de *conventionnalisme*²⁹³.

Au final, c'est le succès de ses théories qui permettra de démarquer — *a posteriori* plutôt qu'*a priori* — l'authentique scientifique du simple "charlatan". Dans la formulation de Meyerson, ce succès se mesure par trois critères principaux :²⁹⁴

- une théorie scientifique doit *expliquer* de manière satisfaisante un grand nombre de faits connus ;
- elle doit fournir une image acceptable de la réalité
- elle doit constituer un instrument de recherche efficace.

289. E. Mach, « On the Economical Nature of Physical Inquiry » ; in *Popular Scientific Lectures (Populärwissenschaftliche Vorlesungen, 1896)*, Open Court, New York, 1986, pp. 186–214.

290. Cette "épistémologie évolutionniste" sera en particulier reprise et développée par Donald Campbell.

291. L'expression n'est pas employée par Mach lui-même, pour lequel « Il n'y a pas de philosophie de Mach » (in *L'Analyse des sensations. Le Rapport du physique au psychique*, op. cit., p. 320). Elle est en large mesure popularisée par la philosophie marxiste, à la suite en particulier de l'essai de Lénine contre les « machistes russes », *Matérialisme et empiriocriticisme* (1908).

292. Ou plus précisément, au risque de l'anachronisme, un "paradigme", au sens que Kuhn donnera à ce terme. Duhem parle plutôt de "groupe théorique", et réserve ce concept aux seules sciences physiques.

293. Là encore, le terme n'est employé ni par Poincaré, ni par Duhem. Ce courant philosophique est en particulier identifié comme tel par Carl Hempel.

294. É. Meyerson, *De l'explication dans les sciences*, 1921, p. 75 ; Payot éd., Paris, 1995.

3.1.2.3. Le positivisme logique

La synthèse de l'empirio-criticisme et du conventionnalisme²⁹⁵ donnera naissance au *positivisme logique*, développé en particulier par le Cercle de Vienne²⁹⁶. Cette nouvelle approche attache une grande importance aux théories du langage et à la logique formelle, composant de base d'un « langage unifié de la science » idéal, qui, pour ses tenants, permet de pallier les ambiguïtés du langage naturel. Dans le lexique anti-métaphysique du cercle de Vienne, ces dernières conduisent à la formulation de propositions « métaphysiques ». Or, selon la fameuse formulation de Wittgenstein, « *Sur ce dont on ne peut parler, il faut garder le silence* »²⁹⁷.

L'un des principaux enjeux du positivisme logique sera donc l'élaboration de *critères de démarcation* entre la science, au discours réductible à des propositions sur des données empiriques, et la métaphysique. Dans l'esprit du *Tractatus logico-philosophicus*, la plupart des formulations proposées tourneront autour des notions de **vérifiabilité** et de **testabilité**, une proposition invérifiable ou non-testable en principe²⁹⁸ étant, par construction, vide de sens, donc métaphysique.

L'approfondissement de la notion de vérifiabilité et son extension à la question du « fondement » des disciplines scientifiques s'avèrera toutefois problématique. Certains membres du Cercle de Vienne procéderont alors à un « tournant linguistique » et considéreront que les questions « ontologiques » (qu'est-ce qu'un nombre ? qu'un atome ?) dérivent principalement du langage dans lequel elles sont formulées. Désabusé, Carnap sera à son tour amené à conclure :

L'acceptation ou le rejet de formes linguistiques abstraites, comme ceux de n'importe quelle autre forme linguistique dans n'importe quelle branche de la science, dépendra finalement de leur efficacité en tant qu'instruments, le rapport entre les résultats obtenus et la quantité et la complexité des efforts nécessaires. La prohibition dogmatique de certaines formes linguistiques, plutôt que de les tester en pratique par le succès ou l'échec de leur emploi, est pire que futile : c'est positivement nocif, dans la mesure où cela peut faire obstacle au progrès scientifique. (...) *Faisons attention aux propositions que nous énonçons et procédons à leur examen critique, mais soyons tolérants à l'égard des formes linguistiques.*²⁹⁹

295. « Nous essayions de combiner les idées de Mach avec celles de la philosophie des sciences française, celle d'Henri Poincaré et de Pierre Duhem, et de les connecter aux études sur la logique d'auteurs comme Couturat, Schröder et Hilbert », se souvient Philipp Frank, fondateur en 1907, avec Hans Hahn et Otto Neurath, de la Société (*Verein*) Ernst Mach, qui deviendra le cercle de Vienne ; in P. Frank, *Between Physics and Philosophy*, Univ. Press, Cambridge, mass., 1941, p. 7.

296. Nous ne distinguons pas ici l'*empirisme logique* du Cercle de Berlin (avec Hans Reichenbach, Carl Gustav Hempel, David Hilbert et al.) du *positivisme logique* du Cercle de Vienne (Rudolf Carnap, Philipp Frank, Otto Neurath et al.) ; les nuances, assez techniques, portent en particulier sur les notions de *convention* et de *probabilité*.

297. Il s'agit de la dernière proposition (§ 7) du *Tractatus logico-philosophicus* de Ludwig Wittgenstein (1922) ; Gallimard, coll. Tel, Paris 993, p. 112. Notons qu'en dépit de l'influence majeure du *Tractatus* sur le Cercle de Vienne, Wittgenstein lui-même n'en était pas formellement membre.

298. Et non seulement en pratique. Ainsi, une proposition sur le comportement d'une masse au voisinage d'un trou noir extra-galactique est en principe vérifiable : il suffirait d'aller y faire l'expérience, même si on n'a aujourd'hui aucune idée concrète pour la réaliser.

299. Rudolf Carnap, « Empiricism, Semantics and Ontology », *Revue Internationale de Philosophie*, 4, 1950, pp. 20-40. (C'est nous qui soulignons ; les italiques sont en revanche de Carnap) En ligne : <http://www.ditext.com/carnap/carnap.html> (consulté août 2014).

Il est toutefois important de noter que les difficultés concernent principalement les théories abstraites et que, dans le contexte restreint des sciences physiques expérimentales, les critères de vérifiabilité et de testabilité restent largement utilisables, y compris dans le cadre d'un discours en langage naturel. Au-delà, Carnap développera le concept de "portée relative" (*relative significance*)³⁰⁰ pour les termes théoriques susceptibles d'être associés à des propositions empiriques.

3.1.2.4. Popper et la réfutabilité

Proche du Cercle de Vienne, Karl Popper prend volontiers le contrepied de ses thèses. Ne récusant pas en bloc la métaphysique, dont certains éléments (porteurs de sens mais non testables) sont pour lui nécessaires à la science, il conteste aussi bien l'intérêt que la possibilité même³⁰¹ d'un langage unifié de la science, qui présenterait par surcroît le risque d'en faire une société fermée.

Pour lui, il n'est donc pas nécessaire qu'une théorie ne produise que des *énoncés vérifiables* pour pouvoir être considérée comme scientifique. La *testabilité* reste en revanche un critère de scientificité d'un énoncé, qu'on peut généraliser, pour la théorie elle-même, en un critère de **réfutabilité** : pour être scientifique, une théorie doit produire des énoncés testables dont la vérification l'invaliderait,³⁰² du moins dans un cadre paradigmatique donné.³⁰³

Il est important de noter qu'une théorie réfutée n'en devient pas nécessairement non scientifique. Le processus de réfutation participe en effet du progrès scientifique, si la théorie réfutée est remplacée par une théorie plus complète qui la remplace. L'ancienne théorie peut alors devenir une approximation scientifiquement recevable de la nouvelle, dans certaines limites explicites. Selon Gaston Bachelard, la connaissance des limites d'une théorie "dépassée" en renforce même la scientificité, dans son nouveau cadre conceptuel.³⁰⁴

Inversement, pour Popper, l'introduction d'un **argument** « *ad hoc* » pour "sauver" une ancienne théorie de la réfutation par un élément nouveau en réduit considérablement la scientificité.³⁰⁵

300. Rudolf Carnap, « The Methodological Character of Theoretical Concepts », in *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis*, dir. H. Feigl & M. Scriven, Univ. Minnesota Press, 1956, p. 38–76.

301. Nous ne considérerons pas ici les difficultés théoriques d'un tel programme, associées par exemple au théorème d'incomplétude de Gödel.

302. Il est par exemple facile de construire un énoncé falsificateur à partir d'une prédiction théorique : l'énoncé contraire (i.e. *le résultat prédit n'est pas observé dans les mêmes conditions*) est testable, et sa vérification suffit à réfuter la théorie.

303. Karl Popper, *La Logique de la découverte scientifique*, éd. Payot, Paris, 2007.

304. Ainsi de la géométrie euclidienne, dont certains axiomes anciennement non testables deviennent dans ce cadre des théorèmes démontrés de la géométrie non euclidienne. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non* (1940), P.U.F., coll. Quadrige, Paris, 2008.

305. Karl Popper, « Truth, Rationality and Growth of Knowledge », 1960 ; in *Conjectures et réfutations* (*Conjectures and Refutations : The Growth of Scientific Knowledge*, 1963) ; Payot, Paris, 2006 ; Routledge, Londres, 1963, pp. 240–244. Popper distingue deux types d'arguments *ad hoc* : (a) ceux qui se contentent de fournir une explication spécifique aux éléments nouveaux, sans donner lieu à aucune nouvelle prédiction testable ; et (b) ceux dont les nouvelles prédictions qu'ils induisent ne satisfont à aucun test indépendant.

3.1.2.5. La crise post-poppérienne

En dépit des différences ostensibles, voire des polémiques, entre ces différentes écoles néo-positivistes, certains critiques comme Ian Hacking soulignent que la quasi-totalité des approches épistémologiques de la première moitié du XX^e siècle reposent sur des bases communes rarement remises en cause, parmi lesquelles il identifie en particulier :³⁰⁶

- l'idée d'une démarcation nette entre science et non-science
- l'idée d'une distinction claire entre théories et faits d'observation
- le caractère cumulatif de la science.

La question importante de la contamination des observations par les *a priori* théoriques de l'observateur a déjà été évoquée en 2.2.6.1. Le caractère cumulatif de la science et de la connaissance scientifique sera également remis en cause, dans les années 1960, en particulier par Thomas Kuhn, qui substitue au schéma logique poppérien :

Théorie → hypothèse → prédiction → réfutation → nouvelle hypothèse,

dans lequel la nouvelle hypothèse hérite des enseignements de la précédente, le processus culturel :

Science normale → crise → révolution → nouvelle science normale,

dans lequel le nouveau paradigme peut être orthogonal à l'ancien.³⁰⁷ Pour Kuhn, les tests de scientificité proposés par Popper s'appliquent surtout pour :

(...) explorer les limites de théories acceptées, ou pour soumettre une théorie actuelle à une tension maximale. (...) [Kuhn] suggère que Sir Karl a caractérisé l'entreprise scientifique tout entière dans des termes qui ne s'appliquent qu'occasionnellement, lors de ses phases révolutionnaires.³⁰⁸

Or, pour les "post-popperiens", le « problème de la démarcation » entre théories scientifiques et non-scientifiques se pose avec la plus grande acuité *juste avant* les avancées révolutionnaires, lorsque la science ancienne rencontre des énigmes³⁰⁹ qui s'avèrent insolubles en phase normale. La capacité d'une théorie à résoudre de telles énigmes³¹⁰ constituerait donc le critère de scientificité « *le moins équivoque et le plus fondamental* »³¹¹.

306. Ian Hacking, *Introduction à Scientific Revolutions*, éd. Oxford Univ. Press, Royaume-Uni, 1981, pp.1-2.

307. Sandra Laugier, « De la logique de la science aux révolutions scientifiques », in *Les Philosophes et la science*, op. cit., pp. 964-1016.

308. Thomas Kuhn, « Logic of Discovery or Psychology of Research », in *Criticism and the Growth of Knowledge*, dir. I. Lakatos & A. Musgrave, Cambridge Univ. Press., Royaume-Uni, pp. 1-23. Accessible en ligne : http://philoscience.unibe.ch/documents/kursarchiv/WS05/kuhn_en.pdf (consulté août 2014)

309. Des *puzzles* en anglais. Kuhn parle volontiers de *puzzle-solving*, que nous rendons ici par "résolution d'énigme".

310. Notons que, selon cet étalon, la scientificité d'une théorie ne peut être établie que par l'histoire (celle des vainqueurs, ou plutôt des Professeurs), *a posteriori*. Un corollaire est que, pour Kuhn « *il y a bien une démarcation* [entre science et non-science], *mais pas de critère de démarcation* », du moins immédiatement opératoire (Imre Lakatos, « The Demarcation Problem », in *For And Against Method.*, dir. Matteo Motterlini, Univ. Chicago press, 1999, p. 28 — c'est Lakatos qui souligne).

311. Thomas Kuhn, « Logic of Discovery or Psychology of Research », op. cit. p. 7. Si, pour Kuhn, ce critère suffit à classer l'astrologie comme "non scientifique", Popper lui objecte que les astrologues

D'autres auteurs, comme Paul Feyerabend, n'hésitent pas à soutenir que, dans les mêmes circonstances, des théories précédemment irrecevables retrouvent une pertinence au moins heuristique, et que « *tout est bon* » qui permet d'alimenter la réflexion.³¹² À l'opposé, Imre Lakatos préfère définir, plus modestement, « *des critères de progrès et de stagnation à l'intérieur d'un programme, ainsi que des règles pour l'élimination d'un programme de recherche tout entier.* »³¹³ Pour lui, toutes les théories naissent en effet, inévitablement, dans « *un océan d'anomalies et d'incohérences* », ³¹⁴ et le rôle du scientifique est de distinguer entre les vérifications importantes et celles qui ne le sont pas.

Feyerabend et Lakatos s'accordent à constater que différentes stratégies épistémologiques sont envisageables à cet égard ; aucune n'est logiquement inattaquable, mais toutes reposent sur l'**honnêteté intellectuelle** du scientifique individuel comme de la communauté scientifique ³¹⁵ et, paradoxalement, sur la **ténacité** du chercheur devant les difficultés et les incohérences initiales.

Au final, la quête d'un critère de scientificité objectif et universel apparaît comme un « *échec sans appel* » de l'épistémologie, selon l'expression de Larry, pour lequel la science se définit par sa capacité à résoudre des problèmes (*problem-solving*) et « *ne progresse que lorsque les théories suivantes résolvent plus de problèmes que les théories précédentes* »³¹⁶. De l'aveu même de Laudan, cette approche pragmatique suggère qu'il n'y aurait pas de différence fondamentale intrinsèque entre l'investigation proprement scientifique et d'autres types d'investigation.

3.1.2.6. Wimsatt et le tournant pratique de l'épistémologie

Ces débats épistémologiques fondamentaux, qu'ils concernent le langage ou la structure des révolutions scientifiques, s'avèrent toutefois très éloignés des préoccupations de la grande majorité des praticiens de la science. Ils ont en commun d'ignorer ou de négliger des aspects de la pratique scientifiques déterminants mais « *tenus pour anecdotiques* », comme :

aspects tacites opérant dans les pratiques ; savoir-faire et habiletés ; normes et standards locaux présidant à l'obtention d'un résultat ; processus d'acquisition et de transmission de ces capacités et valeurs ; ressources matérielles et instrumentales, géométrie du laboratoire et faisabilité concrète à court terme sur la base de ces données ; voire ressources financières disponibles, position institutionnelle, pouvoir de conviction auprès des pairs, des décideurs, des

peuvent aussi rencontrer des énigmes et les résoudre, même si les astronomes ne les reconnaissent pas pour telles ; le critère de Kuhn serait alors de nature sociologique, chaque communauté à prétention scientifique étant fondée à définir les énigmes éligibles – et donc à déterminer sa propre scientificité.

312. Paul Feyerabend, *Contre la méthode (Against Method)*, 1975), éd. Seuil, coll. Points Sciences, Paris, 1988.

313. Imre Lakatos, *Histoire et méthodologie des sciences. Programmes de recherche et reconstruction rationnelle (The Methodology of Scientific Research programmes)*, 1978) ; P.U.F., Paris, 1994, p. 200.

314. Imre Lakatos, « Falsification and Intellectual Honesty », 1973 ; in *For And Against Method.*, dir. M. Motterlini, op. cit., p. 95.

315. Plus précisément, pour Lakatos, « *chacune détermine un code de conduite et un code d'intégrité intellectuelle* » (*idem*). De même, la « *bonne ténacité* » scientifique repose sur une forme de « *bon dogmatisme* », mais sa limite est une « *mauvaise ténacité* » reposant sur un « *mauvais dogmatisme* ».

316. Larry Laudan, « A Problem-solving Approach to Scientific Progress », in *Scientific Revolutions*, dir. I. Hacking, 1981, op. cit., pp. 144–145.

sponsors ou de tout autre instance susceptible d'avoir une influence sur le cours des pratiques.³¹⁷

Sous l'impulsion en particulier de William Wimsatt, dont le projet épistémologique est de « *chercher des outils méthodologiques appropriés à des êtres bien adaptés mais limités et tendant à commettre des erreurs* »³¹⁸ — comme les scientifiques professionnels —, mais aussi de sociologues des sciences comme Bruno Latour,³¹⁹ les “études sur les sciences”³²⁰ ont donc procédé dans les années 1980 à ce qu'il est convenu d'appeler un “tournant pratique”.

Selon Wimsatt, « *cette attention nouvelle à la pratique scientifique suggère l'image de nombreuses philosophies pour de nombreuses sciences* », ³²¹ mais dont les outils peuvent néanmoins se projeter d'une discipline à l'autre. Pour lui :

Une philosophie des sciences adéquate doit avoir une puissance normative. (...) Sans puissance normative, les études méthodologiques, aussi intéressantes soient-elles, se traduiraient par un catalogue d'accidents particuliers, fortuits et mystérieux, sans aucune méthode. (...) [Nous autres philosophes] ne devons pas avoir peur de conseiller les scientifiques, mais nous devons être plus humbles à cet égard. Nous ne sommes pas les “gardiens de la logique des sciences”, révélant des vérités conceptuelles fondamentales en amont de toute science possible.³²²

Une propriété essentielle d'une théorie comme d'une expérience scientifique, sur laquelle se rejoignent praticiens et épistémologues, est alors la **robustesse**, dont Wimsatt s'efforce de théoriser l'importance, en dépit du “flou” (*fuzziness*) relatif de ce critère.

La robustesse étant un élément de scientificité susceptible d'être importants à l'école primaire, il nous a semblé utile d'inclure Wimsatt dans notre corpus proprement épistémologique. Au-delà, nous avons choisi de ne pas y intégrer les propositions postérieures aux années 1970, et en particulier celles associées au développement des sciences cognitives, « *hypothèses-cadres trop récentes* », dans les termes du philosophe Daniel Andler, pour « *fonder un exposé d'introduction* » avec un « *minimum de recul* »³²³.

3.1.2.7. Une philosophie des sciences pour des êtres limités ?

Un autre intérêt majeur de l'œuvre de Wimsatt est l'affirmation décomplexée qu'on peut — sinon que l'on doit — désormais envisager l'épistémologie non comme une discipline-reine, à vocation universelle, mais comme un outil à

317. Lena Soler, texte de présentation du colloque *Caractériser la robustesse des sciences après le “tournant pratique” en philosophie des sciences*, Nancy, 26-27 juin 2008. Accessible en ligne : <http://poincare.univ-lorraine.fr/fr/manifestations/caracteriser-la-robustesse-des-sciences-apres-le-tournant-pratique-en-philosophie-des> (consulté août 2014)

318. William C. Wimsatt, *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*, Harvard Univ. Press, Cambridge, U.S.A., 2007, p. 5.

319. Bruno Latour & Steve Woolgar, *La Vie de laboratoire : la Production des faits scientifiques* (*Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, 1979), éd. La Découverte, Paris, 1988.

320. Que l'anglais regroupe sous le label général de *Sciences Studies*, sans véritable équivalent français.

321. William C. Wimsatt, « Towards A Philosophy for Limited Beings », in *Re-Engineering Philosophy*, op. cit, p. 26.

322. *Idem*, pp. 26-27.

323. Daniel Andler, « Processus cognitifs », in Daniel Andler, Anne Fagot-Largeault et Bertrand Saint-Sernin, *Philosophie des sciences* t. I, col. Folio/Essais, éd. Gallimard, 2002, p. 399.

destination d'“Êtres imparfaits” — comme les scientifiques eux-mêmes, mais aussi les enfants du primaire et leurs enseignants et même, sans doute, les doctorants en didactique.

Ainsi, explique-t-il :

Je cherche des outils méthodologiques appropriés à des êtres convenablement adaptés [à leur environnement scientifique] mais sujet aux erreurs. Ce dont nous avons besoin, c'est d'une philosophie des sciences qui puisse être suivie par des personnes *réelles* dans des situations *réelles* et en temps *réel*, avec le genre d'outils dont nous disposons effectivement — aujourd'hui, ou dont nous disposerons dans un futur réaliste.³²⁴

C'est dans cet esprit que nous considérerons, en tentant d'éviter l'écueil du réductionnisme,³²⁵ la science comme une méthode particulière pour répondre à des questions (toute connaissance étant, selon la formule de Bachelard, une réponse à une question³²⁶) ou résoudre des problèmes (au sens de Laudan³²⁷) réels. De même, nous considérerons la science scolaire comme une méthode pour résoudre des problèmes susceptibles de se poser à l'école.

Remarque : Une telle approche de la science repose sur l'hypothèse implicite que celle-ci est par surcroît une méthode assez *efficace* pour résoudre des problèmes, comme l'a amplement montré l'histoire des sciences et des techniques. Elle ne suppose en revanche aucunement qu'il s'agit de la *seule* méthode disponible à cet effet, ni même de la *plus* efficace.³²⁸

Cette approche n'exclut aucunement a priori les réserves et les contraintes, méthodologiques ou non, envisagées précédemment. Lorsqu'elles sont pertinentes, celles-ci interviendront alors sous la forme de critères de scientificité individuels, contraignants la méthode scientifique.

324. William C. Wimsatt, « Towards A Philosophy for Limited Beings », op. cit, p. 5.

325. « [La] méthodologie du réductionnisme a des implications importantes, mais ce ne sont pas celles que beaucoup de philosophes ont supposé. Ils ont, un temps, placé ces méthodes au cœur d'une épistémologie formelle et fondationaliste. Mais cette vision est fondamentalement gâtée par nos idéalizations à propos de la raison. En tant qu'être réels, nous en “dévions” du fait de nos calculs, de notre cognition, de nos inférences, de nos prises de décision et de la structure de nos schémas conceptuels. ». idem.

326. « Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. » Gaston Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*, op. cit, p. 17.

327. « [Cette] approche n'a pas vocation à impliquer que la science n'est “rien d'autre que” une activité de résolution de problèmes. La variété des objectifs de la science est aussi vaste que la multitude des motivations des scientifiques individuels : la science vise à expliquer et à contrôler le monde naturel ; les scientifiques recherchent (entre autres choses) la vérité, l'influence, l'utilité sociale et le prestige. Chacun de ces buts pourrait être (et a été) employé pour fournir un cadre dans lequel on pourrait entreprendre d'expliquer le développement et la nature de la science. Mon approche, toutefois, soutient que regarder la science comme un système de résolution de problèmes est porteur de meilleurs espoirs de capter ce que la science a de plus caractéristique qu'aucun autre cadre n'a permis de le faire. » Larry Laudan, *Progress and its Problems. Towards a Theory of Scientific Growth*, Un. California Press, Berkeley, 1977, p. 12.

328. « Même si nous admettons que l'objectif de la science est la résolution de problèmes, et si nous admettons par surcroît qu'elle a montré son efficacité pour de telles résolution de problèmes, nous sommes fondés à demander si un système d'investigation comme la science — avec les techniques dont elle dispose — est le plus efficace mécanisme possible pour la résolution de problèmes. » Idem, p. 223.

2.3.2. SCIENCE DE L'ARRIERE ET PRATIQUES SOCIALES DE REFERENCE

L'attention nouvelle à la possibilité de « *nombreuses philosophies pour de nombreuses sciences* »³²⁹ qui sous-tend le récent “tournant pratique” de la philosophie des sciences ne se limite pas aux différentes disciplines. Parmi les praticiens de la seule physique, il pourra ainsi s'avérer utile de distinguer les rapports à la science du chercheur fondamentaliste et du chercheur appliqué, du théoricien et de l'expérimentateur, de l'ingénieur, etc.

Sans entrer ici dans une typologie aussi fine, on peut néanmoins établir une distinction entre une science “de première ligne”, sur le fil du rasoir (selon la métaphore anglaise du *cutting edge*), qui remet sans cesse en cause les concepts mêmes qu'elle manipule, et une science en quelque sorte “de l'arrière”, qui manipule et approfondit les concepts développés en première ligne sans généralement les remettre en cause.

Cette distinction ne constitue en aucun cas une hiérarchie de compétence ou d'utilité ; nombre d'archétypes scientifiques parmi les plus prestigieux relèvent par exemple de la pure ingénierie³³⁰. Elle met en revanche en évidence le fait que la plupart des débats épistémologiques du XX^e siècle portent en fait sur la seule science de première ligne, où se jouent les révolutions scientifiques dans quelques laboratoires de pointe, quand la science de l'arrière, bien plus nombreuse, est par construction ancrée dans des paradigmes raisonnablement établis.

3.2.1. Science scolaire vs. science des scientifiques

C'est en particulier le cas de la science telle qu'on l'enseigne.³³¹ On pourrait donc espérer qu'une “philosophie pour la science scolaire” s'avère bien plus simple que l'épistémologie généraliste, et ne retienne des enjeux évoqués dans la section précédente que les plus proches des pratiques courantes de la science, parfaitement connues et, souvent, codifiées, plutôt que celles, par définition rares et singulières, qui accompagnent ses créations les plus audacieuses. La science enseignée dans les classes secondaires est en effet pour l'essentiel une science dûment éprouvée³³². *A fortiori*, la science enseignée à l'école primaire est pour sa part presque entièrement dégagée du problème de la création scientifique proprement dite (même si les élèves peuvent être amenés à redécouvrir, à re-créer des résultats connus).

329. William C. Wimsatt, « Toward A Philosophy for Limited Beings », in *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*, op. cit, p. 26.

330. Un Américain parlera ainsi volontiers de “*rocket scientist*”, c'est-à-dire d'ingénieur en aéronautique, pour qualifier un esprit scientifique brillant ; et un Français le verra “sorti de Polytechnique”...

331. Y compris pour les enseignants-chercheurs qui peuvent alterner les postures très différentes, dans le laboratoire, du chercheur de pointe remettant en cause les certitudes les mieux établies et, dans l'amphithéâtre, de l'enseignant entièrement confiant dans le paradigme qu'il transmet. Nous ne discuterons pas ici le cas-limite des formations doctorales, dont l'un des objectifs est de mettre les étudiants au contact de la science de première ligne.

332. Les programmes de physique pour le lycée incluent désormais une première initiation à la physique du XX^e siècle ; mais la mécanique quantique et la relativité einsteinienne elles-mêmes relèvent d'un paradigme bien établi depuis presque un siècle.

Cette intuition serait sans doute valide si la « science scolaire » se résumait à une version “réduite”, aussi bien en termes de contenus que d’arsenal méthodologique, de la « science des scientifiques ». ³³³ La réalité est malheureusement plus complexe, et l’écart entre les activités scolaires relevant des sciences et les pratiques des scientifiques ne se résume pas à une simple différence de niveau. A mesure que l’on s’éloigne du laboratoire, de nouvelles préoccupations entrent dans le champ, liées par exemple au rôle politique et social de la science, dont l’enseignant ne saurait faire entièrement abstraction. ³³⁴ S’y ajoutent celles plus spécifiquement scolaires, liées à la pédagogie, à la psychologie, à la culture scolaire, etc.

3.2.2. Pratiques sociales de référence

La science des scientifiques apparaît donc moins comme un *modèle* que comme une *référence* de la science scolaire, voire, dans le lexique de Jean-Louis Martinand, comme une *pratique sociale de référence* :

« [La notion de pratique sociale de référence implique de] prendre en compte non seulement les savoirs en jeu, mais les objets, les instruments, les problèmes et les tâches, les contextes et les rôles sociaux ; de penser et analyser les écarts entre activités scolaires et pratiques socio-techniques prises pour référence (référence) ; de faire apparaître les choix de pratiques de référence, leur sens politique et en tout cas social (question de la référence) ; de comprendre les conditions de cohérence pour les activités scolaires, entre tâches, instruments, savoirs et rôles ; de penser les tendances permanentes de l’école à l’autoréférence et les conditions pour s’y opposer ; de repenser la formation des maîtres, comme acquisition d’une double compétence, dans une ou plusieurs pratiques de référence, et dans la pratique enseignante sur les disciplines scolaires ; d’aborder le problème de certaines difficultés d’apprentissage et échecs scolaires en posant la question des rapports entre activités scolaires/pratiques de référence/pratiques familières aux élèves (et en leur sein, certaines postures et conceptions communes, représentations et raisonnements spontanés) ». ³³⁵

De ce point de vue, la science scolaire apparaît pour sa part à la croisée d’un grand nombre d’enjeux et de références, dont la science des scientifiques n’est qu’une composante. ³³⁶ Une philosophie de la science scolaire déborderait donc très largement de l’épistémologie traditionnelle, et la notion de « nature de la science scolaire » pourrait avoir autant de sens différents qu’il y a de points de vue sur l’école.

La question de la « nature de la science » à l’école, centrale dans la didactique des sciences anglo-saxonne, porte donc moins sur la science scolaire proprement dite que sur les images de la science qu’elle véhicule, et qui sont « *inextricablement*

333. Virginie Albe et Christian Orange. « Sciences des scientifiques et sciences scolaires ». *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 2010, n°2, pp. 19–26.

334. Le chercheur s’attachant quant à lui à en faire résolument abstraction *dans son activité de recherche* — et seulement dans ce cadre.

335. Jean-Louis Martinand, « La Question de la référence en didactique du curriculum », *Investigações em Ensino de Ciências*, 2003, vol. 8(2), pp. 125–130. (p. 127)

336. « Il est difficile de considérer ces moments scolaires [d’enseignement des sciences] comme une simple transposition “linéaire” des pratiques scientifiques. L’école n’est pas simplement une interface dans un processus de transposition d’une référence scientifique ; elle est le lieu de rencontre de pratiques diverses qui constituent autant de références possibles. » Joël Bisault, « Des moments de sciences à l’école primaire : quelles références... », *RDST*, 2010, n°1, pp. 53–73.

connectées au contenu scientifique et à la façon dont il est présenté aux étudiants »³³⁷. Son enjeu concret est donc plutôt de savoir ce que l'on souhaite que les élèves d'un âge donné comprennent de ce qu'est la science *via* l'enseignement des sciences à l'école.

3.2.3. Une approche *top-down* de la science scolaire

L'explicitation de tels objectifs est la base d'une approche de la science scolaire que nous qualifierons de « *top-down* » dans la mesure où elle part du haut niveau de référence, celui de la science professionnelle, pour informer et qualifier la science scolaire, jusqu'à l'école maternelle, dont les élèves sont encore "en bas" de l'échelle des connaissances.

A contrario, nous qualifierons de « *bottom-up* » les approches partant des activités effectivement menées dans les (petites) classes pour remonter à une définition de la science scolaire.

3.2.3.1. Une épistémologie par le consensus

La multiplicité des traditions épistémologiques est une difficulté évidente de l'approche *top-down* : s'il serait *a priori* envisageable de dériver de la plupart autant de philosophies de la science scolaire, la confrontation de ces traditions dans un contexte pour lesquelles elles n'ont pas été conçues semble mener rapidement à l'impasse.

Une réponse est de rechercher *en amont*, sinon un consensus, du moins un plus petit dénominateur commun, applicable à la science de l'arrière. L'archétype de cette approche particulièrement répandue aux États-Unis est celle de Norman G. Lederman, qui se réfère aussi bien à des scientifiques qu'à des philosophes et à des historiens des sciences. Il identifie ainsi un certain nombre de caractéristiques de la science dont le niveau de généralité est tel qu'il fait consensus et est accessible à des lycéens :³³⁸

La connaissance scientifique :

- (a) est provisoire (susceptible d'être modifiée)
- (b) est fondée sur une base empirique (elle est basée sur et/ou dérivée d'observations du monde naturel)
- (c) est subjective (elle implique des biais, des antécédents personnels et/ou dérive de choix théoriques [*theory-laden*])
- (d) implique des déductions (inference), l'imagination et la créativité d'êtres humains (elle implique l'invention d'explications)

337. « Because NoS images are inextricably connected to science content and how it is presented to students, all science teachers and courses communicate a story to students about what science is, how science works, and other important issues about NOS. Teachers do not purposely teach mistaken ideas about NOS, but because they cannot escape teaching it, purposeful attention to the strategies is important. » M.P. Clough et J.K. Olson, « The Nature of Science : Always Part of the Science Story », *The Science Teacher*, 2004, vol. 71(9), pp. 28-31.

338. « Among the characteristics of scientific knowledge corresponding to this level of generality are that scientific knowledge is tentative (subject to change), empirically based (based on and/or derived from observations of the natural world), and subjective (involves personal background, biases, and/or is theory-laden); necessarily involves human inference, imagination, and creativity (involves the invention of explanations); and is socially and culturally embedded. Two additional important aspects are the distinction between observations and inferences, and the functions of and relationships between scientific theories and laws ». Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », *Handbook of Research on Science Education*, op. cit., p. 833.

(e) est enracinée socialement et culturellement.

Deux aspects additionnels importants sont :

(f) la distinction entre observations et inférences

(g) la distinction entre les théories scientifiques et les lois.

Lederman distingue ces composantes générales de la *nature de la science* des éléments de la *démarche scientifique*, qui peuvent varier d'une discipline scientifique à l'autre.

Le jeu de caractéristiques proposé par Lederman apparaît comme la référence de la majorité des études américaines qui évaluent la Nature de la Science chez les élèves. Plus généralement, cette approche *top-down* explicite et directe est devenue dominante dans la didactique des sciences anglo-saxonne.

3.2.3.2. Vers une épistémologie pratique de l'investigation

Une approche alternative, plus indirecte, dérive d'une vision plus psychologique que philosophique de la science. Les psychologues raisonnent en effet plutôt en termes d'*épistémologies personnelles*, c'est à dire de « *jeux d'opinions détenues par les individus sur la nature de la connaissance et sa production* »³³⁹. Il s'agit alors moins d'établir un consensus sur la nature de la science que d'identifier des jeux d'opinions que les élèves devraient maîtriser afin « *de mettre en œuvre des investigations efficaces pour résoudre des problèmes, comprendre leur investigation comme étant de la science et être capable d'évaluer des propositions scientifiques en relation avec des problèmes socio-scientifiques dans leur vie hors et au-delà de l'école* ». ³⁴⁰

William Sandoval suggère ainsi quatre vastes thématiques épistémologiques : ³⁴¹

(a) La connaissance scientifique est un savoir *construit*

(b) Diversité des méthodes scientifiques

(c) Variété des formes de connaissance scientifique

(d) Toutes les formes de connaissance scientifique n'ont pas le même degré de certitude.

Plus précisément :

« La connaissance scientifique est un savoir *construit*

... par des personnes et non simplement découvert ici ou là. En fait, l'effort pour expliquer ce qu'on observe du monde naturel pourrait être le meilleur moyen de caractériser la science. La clef de la notion de science est qu'il existe une relation dialectique entre la théorie et l'observation.

L'idée que selon laquelle la connaissance scientifique est un savoir construit n'est pas sans conséquences. L'une d'elles est que la créativité joue un rôle important dans le développement de la connaissance scientifique, puisque la créativité humaine est la source des idées théoriques. Un second corollaire est que la connaissance scientifique n'est pas acceptée parce qu'elle est "vraie" mais parce que des gens sont persuadés de sa valeur, *i.e.* du fait qu'elle constitue une explication adéquate, qu'elle est utile, ou d'autres avantages. Tout ceci est lié à la notion que la connaissance scientifique est socialement construite, et intègre donc

339. W. A. Sandoval. « Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry ». *Science Education*, 2005, vol. 89 (5), pp. 634–656. (p. 636)

340. *idem*, p. 639.

341. *idem*, pp. 639–641.

de la coopération, de la collaboration et de la compétition.

Diversité des méthodes scientifiques

Les élèves devraient comprendre que les méthodes scientifiques sont diverses. Il semble qu'il n'y a pas qu'une méthode unique qui puisse être considérée comme scientifique. Les champs scientifiques paraissent plutôt reposer pour l'évaluation des méthodes et de la connaissance qu'ils produisent sur des critères qui ont trait à la systématisme, la minutie, la concordance avec des connaissances déjà existantes, etc. Le principal objectif scientifique est que les propositions sur le monde naturel doivent s'accorder et donner du sens avec les observations sur le monde. Épistémologiquement, l'objectif est d'aider les élèves à développer des standards pour évaluer la correspondance entre les observations, les méthodes pour les obtenir et les propositions de connaissance construites à travers elles. Cette évaluation a des implications importantes sur le degré de certitude attribué à des propositions portant sur des connaissances spécifiques.

Variété des formes de connaissance scientifique

Les élèves doivent comprendre qu'il existe différentes formes de connaissance scientifique, de puissances explicatives ou prédictives variables et entretenant des relations différentes avec le monde observable. Au-delà des théories, des lois et des hypothèses, les modèles sont une forme importante de connaissance scientifique. On rencontre également des formes rhétoriques comme des explications, des prédictions et des arguments qui s'appuient sur ces autres formes épistémologiques pour avancer des propositions spécifiques.

Toutes les connaissances scientifiques n'ont pas le même degré de certitude

Certaines propositions sont plus provisoires que d'autres. L'idée que toutes les connaissances scientifiques n'ont pas le même degré de certitude a au moins deux conséquences importantes pour les réformes concernant la démarche d'investigation. Tout d'abord, supprimer la certitude absolue décentre l'autorité en matière de connaissance des enseignants vers les élèves. D'autre part, ce décentrement permet de considérer plus authentiquement, en termes de capacité à satisfaire des critères épistémologiques, le lieu où se fonde l'autorité d'une proposition. Autrement dit, la valeur de vérité ultime d'une proposition, scientifique ou autre, peut ne pas être complètement déterminée ou dépendre en dernière analyse d'axiomes philosophiques, mais cela ne signifie pas pour autant qu'elle ne peut pas être évaluée au regard de normes consensuelles.³⁴²

Les objectifs proprement épistémologiques dérivés de la pratique sociale de référence (la « science des scientifiques », approche *top-down*) sont alors revus à la lumière de ce que l'on sait « *des idées des élèves à propos de la nature de la science et de ses méthodes en vue d'élaborer et de construire des connaissances scientifiques* ». Cette approche indirecte est, selon Sandoval, la façon la plus adéquate de prendre en considération d'une part « *le rôle que la démarche d'investigation peut jouer dans le développement de leur compréhension des pratiques de la science* » et d'autre part « *la façon dont les idées des élèves sur la nature des connaissances et les moyens d'en générer de nouvelles peuvent influencer sur leurs investigations* ». ³⁴³

342. *idem*, p. 639–641.

343. *idem*, p. 638.

2.3.3. NATURE DE LA SCIENCE A L'ÉCOLE PRIMAIRE

En dernière analyse, ce sont les programmes qui fixent pour chaque pays les objectifs à atteindre par les enseignants en termes de perception de la nature de la science scolaire.

Après une revue de ces objectifs dans différents pays, on reviendra sur les travaux en didactique qui les sous-tendent.

3.3.1. La Nature de la science dans les programmes scolaires

On peut distinguer deux approches principales de la nature de la science scolaire dans les programmes de l'école primaire : celle où des indications explicites sont données aux enseignants sur ce que les enfants doivent comprendre du NOS (e.g. aux Etats-Unis, au Royaume-Uni, en Australie) et celle où elles restent implicites (e.g. la France, le Plan d'études Romand en Suisse).

3.3.1.1. En France et en Suisse, des programmes prudents

France

La question de la nature de la science n'est pas spécifiquement abordée dans les programmes français de l'école primaire. Il est cependant possible d'en inférer une définition de ce que pourrait être la science pour un élève de CM2.

Tout d'abord, les programmes ne commencent à parler explicitement d'enseignement scientifique qu'au cycle 3. Auparavant, c'est dans le domaine « Découvrir le Monde » en maternelle et dans celui de « Découverte du monde » au cycle 2 que l'on trouve des contenus de nature scientifique.

On attend des élèves de fin de maternelle qu'ils sachent :

« Reconnaître, nommer, décrire, comparer, ranger et classer des matières, des objets selon leurs qualités et leurs usages ; connaître des manifestations de la vie animale et végétale, les relier à de grandes fonctions : croissance, nutrition, locomotion, reproduction ; nommer les principales parties du corps humain et leur fonction, distinguer les cinq sens et leur fonction. »³⁴⁴

Puis, au cycle 2 :

« Les élèves dépassent leurs représentations initiales par l'observation et la manipulation et mènent des investigations qui les amènent à décrire leurs observations et à maîtriser un vocabulaire de plus en plus précis »³⁴⁵.

Le premier palier pour la maîtrise du socle commun fixe parmi les compétences attendues à la fin du CE1 celles de :

« Résoudre des problèmes très simples et observer et décrire pour mener des investigations »³⁴⁶

Au cycle 3 apparaît le domaine « Sciences expérimentales et Technologie ». Les compléments de 2012 au programme de 2008 ne modifient pas l'introduction de 2008 qui fixe comme objectif aux sciences expérimentales et à

344. Bulletin Officiel, Hors série, n°3, 19 juin 2008, p. 16.

345. Bulletin Officiel, n°1, 5 janvier 2012, p. 6.

346. Bulletin Officiel, Hors série, n°3, 19 juin 2008, p. 20.

la technologie de :

« Comprendre et de décrire le monde réel, celui de la nature et celui construit par l'Homme, d'agir sur lui, et de maîtriser les changements induits par l'activité humaine et de faire saisir aux élèves la distinction entre faits et hypothèses vérifiables d'une part, opinions et croyances d'autre part. Pour atteindre ces buts, « les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique » ; « observation, questionnement, expérimentation et argumentation étant pratiqués, par exemple, selon l'esprit de la Main à la pâte. »³⁴⁷

Le second palier pour la maîtrise du socle commun fixe parmi les compétences attendues à la fin du CM2 :

« Pratiquer une démarche d'investigation : savoir observer, questionner ; manipuler et expérimenter, formuler une hypothèse et la tester, argumenter ; mettre à l'essai plusieurs pistes de solutions ; exprimer et exploiter les résultats d'une mesure ou d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit et à l'oral ; maîtriser des connaissances dans divers domaines scientifiques ; mobiliser ses connaissances dans des contextes scientifiques différents et dans des activités de la vie courante (par exemple, apprécier l'équilibre d'un repas) ; exercer des habiletés manuelles, réaliser certains gestes techniques. »³⁴⁸

En synthétisant les diverses indications des programmes, on peut construire la définition suivante de la science :

La science est une *démarche* pour comprendre et décrire le monde réel, pour agir sur lui et maîtriser les changements induits par l'activité humaine. Cette démarche nécessite d'observer, de questionner, manipuler, expérimenter, de formuler une hypothèse et de la tester, d'argumenter, de mettre à l'essai plusieurs pistes de solutions, d'exprimer et exploiter les résultats d'une mesure ou d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit et à l'oral. Elle conduit à la maîtrise de connaissances et à la capacité de distinguer faits et hypothèse vérifiables d'une part et opinions et croyances d'autre part.

[Objectif explicité E.B.]

Les enseignants français gardent donc une très grande latitude d'interprétation des compétences épistémologiques qu'ils souhaitent transmettre à leurs élèves.

Suisse romande

La question n'est pas non plus spécifiquement traitée dans les programmes de l'école primaire en Suisse romande. Le Plan d'études Romand (PER) indique que :

« Le propos des sciences est d'établir un principe de rationalité dans la confrontation des idées et des théories avec les faits observables dans le monde environnant. La culture scientifique peut se définir comme le fait de savoir identifier, sur la base de connaissances scientifiques, des questions et en tirer des conclusions fondées sur des faits, en vue d'appréhender et d'interpréter la réalité. Cette compréhension vise à prédire des effets à partir de causes identifiées. Entre

347. *idem*, p. 24. C'est nous qui soulignons.

348. *idem*, p. 28.

autres, elle permet de repérer les changements du monde naturel dus à l'activité humaine et à prendre des décisions à ce propos. »³⁴⁹

Cette introduction commune à la description des programmes des cycles 1 (4 premières années du primaire, 4-8 ans), 2 (4 années suivantes, 8-12 ans) et 3 (12-15 ans) est suivie d'une présentation des compétences attendues pour chaque cycle.³⁵⁰ On attend d'un élève à la fin du cycle 2 (l'équivalent de la 6^e française) qu'il *s'initie à la démarche scientifique* et pour cela qu'il :

« formule au moins une question ou une hypothèse au sujet d'une problématique ; identifie un facteur (une variable ou une constante) intervenant dans une problématique ; propose un instrument de mesure adéquat dans une situation problématique donnée ; confronte ses résultats d'observation, d'expérimentation ou de recherches documentaires pour infirmer ou confirmer une hypothèse ; compare deux éléments (*objets, plantes, animaux, partie du corps,...*) selon des critères donnés ; choisisse un critère pour trier une collection et l'utilise pour la présenter ; communique ses résultats par oral et à l'aide d'un dessin annoté. La démarche scientifique développe l'esprit critique des élèves : ne pas toujours croire ce que l'on voit au premier regard ; se questionner, remettre en question son idée première. »³⁵¹

On peut donc construire de même une définition de la science à l'usage des élèves du cycle 2 :

La science est une *démarche* pour confronter des idées et des théories avec les faits observables dans le monde environnant en s'appuyant sur un principe de rationalité. Cette démarche nécessite de formuler une question ou une hypothèse au sujet d'une problématique, de confronter les résultats d'expérimentation, d'observation ou de recherches documentaires pour infirmer ou confirmer une hypothèse, de communiquer ses résultats. Elle peut impliquer d'identifier un facteur, de comparer, trier des éléments en choisissant des critères de tri.

[Objectif explicité E.B.]

C'est donc aussi bien en France qu'en Suisse la « démarche scientifique » qui caractérise la science.

3.3.1.2. Des programmes anglo-saxons explicites

L'approche des programmes anglo-saxons est très différente. On s'intéressera essentiellement aux programmes américains et australiens qui mentionnent explicitement ce que les enfants doivent comprendre sur la nature de la science en fin d'école primaire. Le programme anglais est quand à lui intermédiaire : s'il demande que les enfants sachent des choses sur ce qu'est la science, il développe peu la question.

C'est par ailleurs dans ces pays que la recherche sur le NoS est la plus active.

349. Le PER est disponible sur le site : <http://www.plandetudes.ch> (consulté août 2014)

350. Les cycles sont différents en France et en Suisse.

351. Compétences disponibles sur le site du PER : http://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_16/

Next Generation Science Standards aux États-Unis

Il n'y a pas de programmes fédéraux officiels aux États-Unis : chaque État, voire parfois chaque école, peut élaborer son propre programme d'enseignement. En revanche, l'Académie nationale des sciences élabore *via* le National Research Council des standards pour l'enseignement des sciences et publie des manuels pour les enseignants en impliquant fortement les didacticiens des sciences dans le processus. Ces publications servent de référence à l'ensemble du pays.

La dernière version des standards distingue les pratiques de la science et de l'ingénierie³⁵² de la nature de la science qu'elle décline selon huit axes :

1. Les investigations scientifiques déploient une grande variété de méthodes
2. La connaissance scientifique est fondée sur des preuves empiriques
3. La connaissance scientifique est ouverte à des révisions à la lumière de nouvelles preuves
4. Le rôle des modèles, des lois, des mécanismes, et des théories scientifiques est d'expliquer les phénomènes naturels
5. La science est un moyen d'accéder à la connaissance
6. La connaissance scientifique repose sur l'hypothèse qu'un ordre et une cohérence sous-tendent les systèmes naturels
7. La science est un accomplissement humain
8. La science tente de répondre à des questions sur le monde naturel et matériel

Chaque axe est ensuite à son tour décliné sur 4 niveaux d'âge : le niveau K-2 (CE1), le bloc K-3-5 (CE2-CM2), le niveau "*middle school*" (éq. collège) et le niveau "*high school*" (éq. lycée). Pour chaque niveau d'âge, il est indiqué les attendus en termes d'apprentissage.

Understandings about the Nature of Science				
Categories	K-2	3-5	Middle School	High School
Science is a Way of Knowing	Science knowledge helps us know about the world.	- Science is both a body of knowledge and processes that add new knowledge. - Science is a way of knowing that is used by many people.	- Science is both a body of knowledge and the processes and practices used to add to that body of knowledge. - Science knowledge is cumulative and many people, from many generations and nations, have contributed to science knowledge. - Science is a way of knowing used by many people, not just scientists.	- Science is both a body of knowledge that represents a current understanding of natural systems and the processes used to refine, elaborate, revise, and extend this knowledge. - Science is a unique way of knowing and there are other ways of knowing. - Science distinguishes itself from other ways of knowing through use of empirical standards, logical arguments, and skeptical review. - Science knowledge has a history that includes the refinement of, and changes to, theories, ideas, and beliefs over time.
Scientific Knowledge Assumes an Order and Consistency in Natural Systems	- Science assumes natural events happen today as they happened in the past. - Many events are repeated.	- Science assumes consistent patterns in natural systems. - Basic laws of nature are the same everywhere in the universe.	- Science assumes that objects and events in natural systems occur in consistent patterns that are understandable through measurement and observation. - Science carefully considers and evaluates anomalies in data and evidence.	- Scientific knowledge is based on the assumption that natural laws operate today as they did in the past and they will continue to do so in the future. - Science assumes the universe is a vast single system in which basic laws are consistent.
Science is a Human Endeavor	- People have practiced science for a long time. - Men and women of diverse backgrounds are scientists and engineers.	- Men and women from all cultures and backgrounds choose careers as scientists and engineers. - Most scientists and engineers work in teams. - Science affects everyday life. - Creativity and imagination are important to science.	- Men and women from different social, cultural, and ethnic backgrounds work as scientists and engineers. - Scientists and engineers rely on human qualities such as persistence, precision, reasoning, logic, imagination and creativity. - Scientists and engineers are guided by habits of mind such as intellectual honesty, tolerance of ambiguity, skepticism and openness to new ideas. - Advances in technology influence the progress of science and science has influenced advances in technology.	- Scientific knowledge is a result of human endeavor, imagination, and creativity. - Individuals and teams from many nations and cultures have contributed to science and to advances in engineering. - Scientists' backgrounds, theoretical commitments, and fields of endeavor influence the nature of their findings. - Technological advances have influenced the progress of science and science has influenced advances in technology. - Science and engineering are influenced by society and society is influenced by science and engineering.
Science Addresses Questions About the Natural and Material World.	Scientists study the natural and material world.	Science findings are limited to what can be answered with empirical evidence.	- Scientific knowledge is constrained by human capacity, technology, and materials. - Science limits its explanations to systems that lend themselves to observation and empirical evidence. - Science knowledge can describe consequences of actions but is not responsible for society's decisions.	- Not all questions can be answered by science. - Science and technology may raise ethical issues for which science, by itself, does not provide answers and solutions. - Science knowledge indicates what can happen in natural systems—not what should happen. The latter involves ethics, values, and human decisions about the use of knowledge. - Many decisions are not made using science alone, but rely on social and cultural contexts to resolve issues.

Tableau 3.3.1.2.a. : Descriptif des objectifs en termes de NoS en fonction de l'âge (États-Unis) (première partie)

352. Pour les pratiques, cf. *infra*, § 2.4.3.3. Standards disponibles sur le site Next Generation Science Standards : <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards> (consulté août 2014)

Understandings about the Nature of Science				
Categories	K-2	3-5	Middle School	High School
Scientific Investigations Use a Variety of Methods	- Science investigations begin with a question. - Scientists use different ways to study the world.	- Science methods are determined by questions. - Science investigations use a variety of methods, tools, and techniques.	- Science investigations use a variety of methods and tools to make measurements and observations. - Science investigations are guided by a set of values to ensure accuracy of measurements, observations, and objectivity of findings. - Science depends on evaluating proposed explanations. - Scientific values function as criteria in distinguishing between science and non-science.	- Science investigations use diverse methods and do not always use the same set of procedures to obtain data. - New technologies advance scientific knowledge. - Scientific inquiry is characterized by a common set of values that include: logical thinking, precision, open-mindedness, objectivity, skepticism, replicability of results, and honest and ethical reporting of findings. - The discourse practices of science are organized around disciplinary domains that share exemplars for making decisions regarding the values, instruments, methods, models, and evidence to adopt and use. - Scientific investigations use a variety of methods, tools, and techniques to revise and produce new knowledge.
Scientific Knowledge is Based on Empirical Evidence	Scientists look for patterns and order when making observations about the world.	- Science findings are based on recognizing patterns. - Scientists use tools and technologies to make accurate measurements and observations.	- Science knowledge is based upon logical and conceptual connections between evidence and explanations. - Science disciplines share common rules of obtaining and evaluating empirical evidence.	- Science knowledge is based on empirical evidence. - Science disciplines share common rules of evidence used to evaluate explanations about natural systems. - Science includes the process of coordinating patterns of evidence with current theory. - Science arguments are strengthened by multiple lines of evidence supporting a single explanation.
Scientific Knowledge is Open to Revision in Light of New Evidence	Science knowledge can change when new information is found.	Science explanations can change based on new evidence.	- Scientific explanations are subject to revision and improvement in light of new evidence. - The certainty and durability of science findings varies. - Science findings are frequently revised and/or reinterpreted based on new evidence.	- Scientific explanations can be probabilistic. - Most scientific knowledge is quite durable but is, in principle, subject to change based on new evidence and/or reinterpretation of existing evidence. - Scientific argumentation is a mode of logical discourse used to clarify the strength of relationships between ideas and evidence that may result in revision of an explanation.
Science Models, Laws, Mechanisms, and Theories Explain Natural Phenomena	- Scientists use drawings, sketches, and models as a way to communicate ideas. - Scientists search for cause and effect relationships to explain natural events.	- Science theories are based on a body of evidence and many tests. - Science explanations describe the mechanisms for natural events.	- Theories are explanations for observable phenomena. - Science theories are based on a body of evidence developed over time. - Laws are regularities or mathematical descriptions of natural phenomena. - A hypothesis is used by scientists as an idea that may contribute important new knowledge for the evaluation of a scientific theory. - The term "theory" as used in science is very different from the common use outside of science.	- Theories and laws provide explanations in science, but theories do not with time become laws or facts. - A scientific theory is a substantiated explanation of some aspect of the natural world, based on a body of facts that has been repeatedly confirmed through observation and experiment, and the science community validates each theory before it is accepted. If new evidence is discovered that the theory does not accommodate, the theory is generally modified in light of this new evidence. - Models, mechanisms, and explanations collectively serve as tools in the development of a scientific theory. - Laws are statements or descriptions of the relationships among observable phenomena. - Scientists often use hypotheses to develop and test theories and explanations.

Tableau 3.3.1.2.b. : idem (deuxième partie)

Soit pour les élèves américains de fin de CE1 :

La science étudie le monde naturel et matériel et considère que les événements naturels se produisent aujourd'hui comme ils se passaient dans le passé. La connaissance scientifique nous aide à comprendre le monde. Cela fait très longtemps que des hommes et des femmes de diverses origines pratiquent en tant que scientifiques ou ingénieurs. Les investigations scientifiques commencent par une question. Les scientifiques utilisent différentes méthodes pour étudier le monde. De nombreux événements peuvent être répétés. Les scientifiques cherchent des régularités et l'ordre quand ils font des observations sur le monde. Ils utilisent des dessins, des schémas et des modèles pour communiquer les idées. Ils cherchent les relations de cause et effet pour expliquer les phénomènes naturels. La connaissance scientifique peut changer quand de nouvelles informations sont trouvées.

[Synthèse E.B.]

Pour les élèves de fin de CM2 :

La science est une façon de comprendre utilisée par de nombreuses personnes et consiste à la fois en un ensemble de connaissances et de processus. Elle crée de nouvelles connaissances. Elle considère qu'il y a des régularités dans les systèmes naturel et que les lois de la nature sont les même partout dans l'univers. Elle ne fournit de réponses qu'en présence de preuves empiriques. Les méthodes scientifiques sont déterminées par des questions et les investigations utilisent une grande diversité de méthodes, d'outils et de techniques qui sont utilisés pour réaliser des mesures et des observations précises. Les résultats scientifiques sont basés sur la reconnaissance de régularités. Les explications scientifiques peuvent changer en présence de

nouvelles preuves, elles décrivent les mécanismes de phénomènes naturels. Les théories scientifiques reposent sur un ensemble de preuves et de nombreux tests. La plupart des scientifiques et des ingénieurs travaillent en équipe et ce sont des hommes et des femmes de toutes les cultures et de toutes les origines.

[Synthèse E.B.]

Programmes australiens

En Australie, la « *foundation year* » accueille les élèves de 5-6 ans, et l'école primaire s'arrête à 13 ans. Il y a donc 7 années d'études (Year 1- Year 7) qui correspondent aux années de CP à la classe de 5^e en France. Dès la « *foundation year* », les programmes distinguent les contenus scientifiques de deux autres catégories : « *Science inquiry skills* » et « *Science as Human Endeavor* », cette dernière étant elle-même subdivisée en deux sous-catégories : « *Nature and Development of Science* » et « *Use and Influence of Science* »³⁵³.

		Foundation Year	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6
Science as a Human Endeavour	Nature and development of science	Science involves exploring and observing the world using the senses	Science involves asking questions about, and describing changes in, objects and events		Science involves making predictions and describing patterns and relationships		Science involves testing predictions by gathering data and using evidence to develop explanations of events and phenomena Important contributions to the advancement of science have been made by people from a range of cultures	
	Use and influence of science		People use science in their daily lives, including when caring for their environment and living things		Science knowledge helps people to understand the effect of their actions		Scientific understandings, discoveries and inventions are used to solve problems that directly affect peoples' lives Scientific knowledge is used to inform personal and community decisions	
Science Inquiry Skills	Questioning and predicting	Respond to questions about familiar objects and events	Respond to and pose questions, and make predictions about familiar objects and events		With guidance, identify questions in familiar contexts that can be investigated scientifically and predict what might happen based on prior knowledge		With guidance, pose questions to clarify practical problems or inform a scientific investigation, and predict what the findings of an investigation might be	
	Planning and conducting	Explore and make observations by using the senses	Participate in different types of guided investigations to explore and answer questions, such as manipulating materials, testing ideas, and accessing information sources Use informal measurements in the collection and recording of observations, with the assistance of digital technologies as appropriate		Suggest ways to plan and conduct investigations to find answers to questions Safely use appropriate materials, tools or equipment to make and record observations, using formal measurements and digital technologies as appropriate		With guidance, plan appropriate investigation methods to answer questions or solve problems Decide which variable should be changed and measured in fair tests and accurately observe, measure and record data, using digital technologies as appropriate Use equipment and materials safely, identifying potential risks	
	Processing and analysing data and information	Engage in discussions about observations and use methods such as drawing to represent ideas	Use a range of methods to sort information, including drawings and provided tables Through discussion, compare observations with predictions		Use a range of methods including tables and simple column graphs to represent data and to identify patterns and trends Compare results with predictions, suggesting possible reasons for findings		Construct and use a range of representations, including tables and graphs, to represent and describe observations, patterns or relationships in data using digital technologies as appropriate Compare data with predictions and use as evidence in developing explanations	
	Evaluating		Compare observations with those of others		Reflect on the investigation, including whether a test was fair or not		Suggest improvements to the methods used to investigate a question or solve a problem	
	Communicating	Share observations and ideas	Represent and communicate observations and ideas in a variety of ways such as oral and written language, drawing and role play		Represent and communicate ideas and findings in a variety of ways such as diagrams, physical representations and simple reports		Communicate ideas, explanations and processes in a variety of ways, including multi-modal texts	

Tableau 3.3.1.2.c. : Descriptif des objectifs en termes de NoS et de compétences relatives à l'investigation en fonction de l'âge des élèves (Australie)

353. Programmes disponibles sur le site du Ministère de l'éducation australien : <http://www.australiancurriculum.edu.au/Science/Science-across-foundation-to-year-12> (consulté août 2014)

Soit pour les élèves australiens de fin de CE1 :

La science implique de se poser des questions et de décrire les changements relatifs à des objets et des événements. Elle est utilisée dans la vie de tous les jours y compris quand les gens prennent soins de leur environnement et des êtres vivants.

[Synthèse E.B.]

En fin de CM1, cette définition évolue en :

La science implique de se poser des questions, de faire des prédictions et de décrire des relations et régularités relatives à des objets et des événements. La connaissance scientifique aide les gens à comprendre les effets de leurs actions.

[Synthèse E.B.]

Enfin, cette définition devient en fin de 6^e :

La science implique de se poser des questions, de tester des prédictions en rassemblant des données et en utilisant des preuves pour développer des explications à propos d'événements et de phénomènes. Des contributions importantes à l'avancement des sciences ont été faites par des gens de cultures très variées. La compréhension scientifique, les découvertes et les inventions sont utilisées pour résoudre des problèmes qui affectent directement la vie des gens et la connaissance scientifique est utilisée pour informer les décisions de chacun et de la communauté.

[Synthèse E.B.]

Programmes britanniques

Au Royaume-Uni, le primaire est scindé en deux paliers, ou "key stages" : le premier de 5 à 7 ans (GS-CP) et le deuxième de 7 à 11 ans. (CE1- CM2). Aux domaines liés à des contenus scientifiques (le vivant, la matière etc.) s'ajoutent le domaine « investigation scientifique » subdivisé en deux catégories : les idées et preuves en science ; et les compétences relatives à l'investigation³⁵⁴.

Key Stage	Idées et indices en sciences
1	Il conviendrait d'apprendre aux élèves que lorsqu'on essaie de répondre à une question il est important de rassembler des indices en procédant à des observations et à des mesures .
2	Il conviendrait d'apprendre aux élèves : a. que l'objet de la science consiste est de déployer une pensée créative pour tenter d'expliquer comment fonctionnent le vivant et le non-vivant et pour établir des relations entre les causes et les effets b. qu'il est important de tester ses idées à l'aide des indices tirés de l'observation et de la mesure.

Tableau 3.3.1.2.d. : Descriptif des objectifs en fonction de l'âge des élèves (Royaume-Uni)

354. Programmes disponibles sur le site du Ministère de l'éducation anglais : <http://www.education.gov.uk/schools/teachingandlearning/curriculum/primary/> (consulté août 2014)

Par ailleurs, il est précisé en introduction aux programmes que :

« Au cours du palier 1, les enfants observent, explorent et posent des questions à propos du vivant, de matériaux et de phénomènes. Ils commencent à travailler ensemble pour rassembler des éléments de preuve les aidant à répondre aux questions et à les lier à des idées scientifiques simples. Ils évaluent ces éléments et apprécient la justesse de leurs comparaisons et de leurs tests. Ils utilisent du matériel pédagogique pour en découvrir plus sur des idées scientifiques. Ils partagent leurs idées et les communiquent en employant le langage scientifique, des dessins, des schémas et des tableaux. »

Au palier 1 (GS-CP), il n'est pas demandé aux enseignants de définir la science. Ils doivent en revanche faire comprendre aux élèves l'importance de la pratique consistant à récupérer des preuves en faisant des expériences et des mesures pour essayer de répondre à des questions.

« Au cours du palier 2, les élèves s'instruisent à propos d'une plus grande variété d'êtres vivants, de matériaux et de phénomènes. Ils commencent à établir des liens entre des idées et à fonder leurs explications sur des modèles simples et des théories. Ils réinvestissent leurs connaissances et leur compréhension d'idées scientifiques dans des phénomènes familiers concernant la vie quotidienne et leur santé personnelle. Ils commencent à réfléchir aux effets positifs et négatifs du développement scientifique et technologique sur l'environnement et dans d'autres contextes. Ils mènent des investigations plus systématiques, en travaillant par eux-mêmes et avec d'autres. Ils utilisent une grande variété de sources pour leur travail. Ils communiquent à propos de leur travail et de sa signification, ils partagent leurs idées en déployant un large spectre de langages scientifiques, de diagrammes, de schémas et de graphes. »

Pour les élèves de fin de CM2 en revanche :

La science consiste à réfléchir de façon créative pour expliquer comment fonctionnent le vivant et les choses non vivantes et pour construire des liens entre des causes et des effets. Il est important de tester les idées en utilisant des preuves issues de l'observation et de mesures.

[Synthèse E.B.]

Les programmes du primaire au Royaume-Uni changeront à partir de 2014 dans le sens d'un renoncement à expliciter la nature de la science. La version de travail disponible indique le remplacement du domaine « investigation scientifique » par un domaine intitulé « travailler scientifiquement » (« *working scientifically* ») dans lequel sont uniquement précisées des procédures et des méthodes scientifiques pratiques (*practical scientific processes and methods*), comme planifier des investigations, contrôler des paramètres, mesurer. Les programmes visent ainsi à développer « la compréhension de la nature de la science, de ses procédures et de ses méthodes »³⁵⁵.

355. « *develop understanding of the nature, processes and methods of science through practical activity* ».

Version de travail disponible sur le site du ministère de l'éducation du Royaume-Uni :

<https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study> (consulté août 2014)

3.3.1.3. Synthèse : des attentes variées

Ce que les élèves de primaire doivent savoir de la nature de la science varie considérablement d'un pays à l'autre.

Certains pays (France, Suisse romande) considèrent avant tout la science comme une démarche. Les compétences relatives à la mise en œuvre d'une investigation sont donc caractéristiques de la science. D'autres pays dissocient les pratiques relatives à l'investigation de la nature de la science (Etats-Unis, Australie, Royaume-Uni). Certains mettent l'accent sur les personnes qui pratiquent les sciences (Etats-Unis) ou sur l'intérêt de la science pour la société (Australie).

Les propositions des « *Next Generation Science Standards* » américains paraissent de loin les plus ambitieuses en termes d'attendus chez des élèves de fin de CM2 : elles introduisent l'idée de théorie scientifique à l'école primaire. Ce sont également les plus détaillées.

On peut également noter que la formulation des compétences/connaissances du NoS attendue à l'école primaire procède par *simplification* de celles visées aux niveaux supérieurs, tant en Australie qu'aux Etats-Unis où la section NoS occupe une place importante. Il en va de même lorsque les niveaux de l'école primaire sont décomposés : la définition de la science proposée aux élèves les plus jeunes est une version édulcorée de ce qui est attendu des élèves du niveau directement supérieur. Cela conduit les concepteurs de « *Next Generation Science Standards* » à faire varier considérablement le contenu d'une catégorie (e.g. « *Science is a way of knowing* ») en fonction de l'âge des élèves.

3.3.2. Synthèse du corpus didactique

Alors qu'on trouve pléthore de définition de la nature de la science à destination des élèves de collège, de lycée voire des étudiants universitaires, on en connaît très peu à destination des élèves de primaire.

Par ailleurs, l'introduction de la nature de la science est assez récente dans la plupart des programmes (les « *Next Generation Science Standards* » sont sortis en avril 2013, les programmes australiens en 2012). Ce point n'est pas sans conséquence sur les recherches en didactique qui sont liées aux contenus et aux réformes des programmes.

3.3.2.1. Consensus d'experts

L'épistémologie scolaire étant un champ relativement nouveau, les programmes dérivent en bonne partie de résultats de consensus d'experts.

Quatre Notions-clés

En France, en 2009, un colloque financé par le prix Purkwa (Académie des sciences/ Ecole des Mines de Saint-Etienne) a rassemblé dix experts³⁵⁶ qui ont proposé dix notions-clés *de* science et quatre *sur* la science. Destinées aux

356. Derek Bell, Rosa Devés, Hubert Dyasi, Guillermo Fernandez de la Garza, Pierre Léna, Wynne Harlen, Robin Millar, Michael Reiss, Patricia Rowell, Wei Yu.

élèves de la maternelle à la troisième, elles sont considérées comme les bases de ce que tout un chacun devrait savoir de et sur la science.

« 1. La science présume que chaque effet observé possède une ou plusieurs causes.

La science veut expliquer et comprendre les phénomènes du monde naturel en termes de leurs causes. Les explications proposées doivent être fondées sur des évidences résultant d'observations et d'expériences. Il n'existe pas une méthode scientifique unique permettant de produire une explication scientifique et d'en tester la validité.

2. Les explications scientifiques, les théories et les modèles acceptés constituent la meilleure représentation possible des faits qui sont connus à un moment donné.

Une théorie scientifique ou un modèle décrivant les relations entre des variables ou des composants d'un système doivent être en accord avec les observations disponibles à un moment donné et conduire à des prédictions pouvant être testées. Toute théorie, tout modèle sont donc provisoires, susceptibles de révision à la lumière de nouvelles données, même si précédemment ils ont pu conduire à des prévisions en accord avec les données alors disponibles. Chaque modèle possède ses points forts et ses limitations lorsqu'il rend compte des observations.

3. Les connaissances produites par la science sont utilisées dans les technologies afin de créer des produits qui servent des buts définis par l'homme.

L'application de notions scientifiques par les techniques a conduit à de profonds changements dans bien des aspects de l'activité humaine. Les progrès des technologies ont permis de nouvelles avancées scientifiques ; cela, à son tour, permet d'accroître les connaissances, et de satisfaire la curiosité des hommes sur le monde naturel. Dans certains domaines, les technologies précèdent les notions scientifiques, mais dans d'autres ces notions précèdent les technologies.

4. Les applications de la science ont, bien souvent, des implications éthiques, sociales, économiques et politiques.

L'usage des connaissances scientifiques par les technologies a rendu possibles de très nombreuses innovations. Décider du caractère souhaitable ou non de telle ou telle application particulière de la science ne relève pas du seul jugement scientifique. Des jugements éthiques et moraux peuvent alors intervenir, fondés par exemple sur des considérations de protection de l'être humain ou d'impact sur la société et son environnement. »³⁵⁷

Une description plus précise est ensuite fournie,³⁵⁸ et une progressivité des contenus proposée sous forme d'un continuum sans indication claire d'âge où chacun des différents éléments seraient accessibles.

Une étude Delphi

Dans un esprit voisin, John Osborne et son équipe s'appuient au Royaume-Uni sur une étude "Delphi" pour définir les idées sur la science qui devraient être enseignées à l'école.³⁵⁹ Dans cette étude, les réponses récupérées auprès

357. Wynne Harlen, Pierre Léna, *10 Notions-clés pour enseigner les sciences de la maternelle à la 3^e*, éd. Belin/Le Pommier, Paris, 2011, pp. 73-74.

Accessible en ligne sur le site de la fondation La Main à la Pâte : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11926/notions-cl-s-pour-enseigner-la-science> (consulté août 2014)

358. *idem*, pp. 110-117.

359. J. Osborne, S. Collins, M. Ratcliffe, R. Millar et R. Duschl. « What "ideas-about-science" should be taught in school science ? A Delphi study of the expert community ». *Journal of Research in Science Teaching*, 2003, vol. 40 (7), pp. 692-720.

de 23 experts (scientifiques, philosophes, didacticiens, enseignants) et leur classement par ordre de priorité des thématiques extraites de la question « *Que devrait-on enseigner aux élèves sur ce qu'est la science ?* » ont permis de générer les propositions :

« Méthode expérimentale et pensée critique

Il conviendrait d'apprendre aux élèves que la science emploie la méthode expérimentale pour tester les idées ; et en particulier certaines procédures de base comme la vérification. Il doit être clair que le résultat d'une expérience unique est rarement suffisant pour établir une proposition scientifique.

Créativité

Il conviendrait d'apprendre aux élèves que la science fait autant appel à la créativité et à l'imagination que beaucoup d'autres activités humaines et que certaines idées scientifiques sont d'immenses prouesses intellectuelles. Les scientifiques sont des individus aussi passionnés et investis dans leur travail que les membres de toute autre profession, et leur travail repose sur l'inspiration et l'imagination.

Science et questionnement

Il conviendrait d'apprendre aux élèves qu'un aspect important du travail d'un scientifique est le processus permanent et répété de questionnement et de recherche de réponses qui elles-mêmes conduisent à de nouvelles questions. Ce processus conduit à l'émergence de nouvelles théories et techniques scientifiques qui sont à leur tour testées empiriquement.

Diversité de la pensée scientifique

Il conviendrait d'apprendre aux élèves que la science emploie une large gamme de méthodes et d'approches et qu'il n'y a pas de méthode ou d'approche unique.

Analyse et interprétation des données

Il conviendrait d'apprendre aux élèves que la pratique de la science dépend d'un jeu de compétences nécessaires à l'analyse et l'interprétation des données. Les idées scientifiques n'émergent pas simplement des données mais dérivent d'un processus de mesures et d'interprétations qui fait souvent appel à des compétences sophistiquées. Il est par conséquent possible que des scientifiques aboutissent à des interprétations différentes en se basant sur les mêmes données.

Hypothèse et prédiction

Il conviendrait d'apprendre aux élèves que les scientifiques développent des hypothèses et des prédictions à propos des phénomènes naturels. Ce processus est essentiel au développement de nouvelles connaissances.

Développement scientifique de la connaissance scientifique

Il conviendrait d'apprendre aux élèves certaines bases historiques du développement des connaissances scientifiques.

Science et certitude

Il conviendrait que les élèves perçoivent la distinction entre une grande partie des connaissances scientifiques, en particulier celles qui sont enseignées à l'école sont bien établies et ne peuvent être raisonnablement mises en cause, et d'autres qui restent plus ouvertes à un doute légitime. Il conviendrait également d'expliquer que les connaissances scientifiques actuelles sont ce que nous avons de mieux pour le moment mais qu'elles peuvent être amenées à changer dans le futur, si l'on découvre de nouveaux indices ou s'il apparaît de nouvelles interprétations d'anciens indices.

Coopération et collaboration dans le développement de la connaissance scientifique

Il conviendrait d'apprendre aux élèves que les développements scientifiques ne résultent pas d'entreprises individuelles. Ils découlent d'activités de groupe et de collaborations souvent pluridisciplinaires et internationales. »³⁶⁰

360. J. Osborne, S. Collins, M. Ratcliffe, R. Millar et R. Duschl. « What should we teach about science ? A Delphi study ». London : King's College, 2001.

Ces propositions associent à des éléments de scientificité relatifs à la nature de la science (au sens où l'entend N.G. Lederman), des éléments spécifiques aux processus et méthodes scientifiques.

3.3.2.2. Une approche *Top-Down* pour l'école primaire

On trouve peu d'articles sur la nature de la science à l'école primaire. Les didacticiens se sont en effet longtemps focalisés sur l'enseignement des sciences délivré par des enseignants spécialisés avec un contenu scientifique relativement bien identifié et, finalement, avec des pratiques sociales de références assez proches de celles de la science professionnelle.³⁶¹

Les seuls articles de recherche parus (à notre connaissance) proposant une définition explicite de ce qu'est la science pour des élèves de primaire sont ceux publiés par Valarie Akerson et ses collaborateurs^{362, 363, 364, 365, 366}.

Son approche est résolument *top-down* : elle reprend et adapte pour l'école primaire les caractéristiques proposées par Norman G. Lederman pour des élèves de classe de Terminale :

Observation *vs.* inférence (f)
Caractère provisoire (a)
Créativité et imagination (d)
Subjectivité (c)
Ancrage social et culturel (e)
Fondation empirique (b)
Théorie et lois (g)³⁶⁷

La caractéristique « Théorie et Lois », même si elle est indiquée, n'est en revanche ni abordée avec les enfants de niveau K-1, K-2 et K-3 (CP-CE2), ni sondée chez les élèves.

« L'enseignant demande aux élèves « *A votre avis, c'est quoi la science ? Qu'est-ce qui fait que quelque chose est de la science plutôt que des mathématiques par exemple ?* » L'enseignant laisse les réponses émerger puis énonce : « *La nature de la science est ce qui fait que la science est vraiment la science. Ce sont les caractéristiques de la science qui la rendent unique en elle-même.* » L'enseignant peut ensuite lire chaque aspect et

361. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », op. cit., p. 861.

362. V. Akerson & F. Abd-El-Khalick, « How should I know what scientists do ? — I'm just a kid » : Fourth-Grade Students' Conceptions of Nature of Science ». *Journal of Elementary Science Education*, 2005, vol.17 (1), pp. 1–11.

363. Valarie Akerson & Lisa A. Donelli. « Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain ? ». *International Journal of Science Education*, 2010, vol.32 (1), pp. 97–124.

364. V. Akerson et M.L. Volrich. « Teaching nature of science explicitly in a first grade internship setting ». *Journal of Research in Science Teaching*, 2006, vol. 43(4), pp. 377–394.

365. Valarie L. Akerson, Ingrid Weiland, Khemmawadee Pongsanon et Vanashri Nargund. « Evidence-based Strategies for Teaching Nature of Science to Young Children ». *Journal of Kirsehir Education Faculty*, 2010, vol. 11(4), pp. 61–78.

366. C. Quigley, K. Pongsanon et V.L. Akerson. « If we teach them, they can learn : Young student' views of nature of science during an informal science education program ». *Journal of Science Teacher Education*, 2011, vol. 22 (2), pp. 129–149.

367. Valarie L. Akerson et al. « Evidence-based Strategies for Teaching Nature of Science to Young Children ». *Journal of Kirsehir Education Faculty*, op. cit. Les lettres entre parenthèses renvoient aux items de N.G. Lederman (cf. *supra* § 2.3.2.3.1.).

chaque définition posés dans le poster et en discuter les termes dans un langage adapté aux élèves. »³⁶⁸

Valarie Akerson propose un enseignement explicite de ces différentes caractéristiques sous forme de cours « décontextualisés » (i.e. magistraux) et d'activités permettant de mettre en évidence les caractéristiques considérées. Un poster est ainsi utilisé pour décrire le NoS aux élèves (Figure 3.2.2.a.).

Les activités utilisées à cet effet ne sont pas forcément de nature « scientifique »³⁶⁹. Elles s'appuient par exemple sur des albums jeunesse ou sur des cubes pour illustrer différentes caractéristiques.

Le terme d'« inférence » est par ailleurs explicitement utilisé avec les élèves qui apprennent à l'employer en opposition avec celui d'observation, et ce dès la grande section de maternelle. Un dessin dans lequel on peut voir une femme jeune ou une vieille suivant la façon dont on regarde (dans l'esprit du canard-lapin de Wittgenstein) permet ainsi d'illustrer la distinction entre observation et inférence. Les termes caractérisant la science sont également employés lors de discussion (e.g. *tentativeness, creativity, subjectivity*).

Cette approche *top-down* conduit Akerson à adapter le contenu de chaque caractéristique :

« L'enseignant va néanmoins devoir aider les élèves à identifier les composantes de leurs investigations qui les connectent au NoS. Ainsi, **lorsqu'ils modifient** au regard d'indices expérimentaux **leurs dispositifs comme leurs idées** sur ce qui contribue à l'obtention d'un équilibre entre différents objets, leur démarche est **représentative du caractère provisoire du NoS**. De même, lorsqu'ils conçoivent des éléments destinés à faire tourner quelque chose, l'enseignant peut faire le lien avec le caractère créatif du NoS en leur demandant de remarquer qu'**ils se construisent** aussi **une compréhension** de ce qui contribue à faire tourner un objet (ou à la faire tourner le plus longtemps, par exemple). On peut demander aux élèves **de faire des observations sur leurs maquettes et d'inférer des paramètres qui contribuent à faire tourner les choses** (et "mieux" tourner). Demander aux élèves **de réfléchir à ce qu'ils ont appris** sur les équilibres et les mouvements et **qui a par la suite pu influencer leur réalisation de maquettes** de montagnes russes peut constituer **un exemple du caractère subjectif du NoS** (e.g. que leur connaissance du contexte influence la façon dont ils élaborent leurs maquettes). »³⁷⁰

« **Ancrage social et culturel** : il était demandé aux élèves au cours de la première semaine de créer chacun leur propre roue. Il leur était demandé de dessiner une image de leur première invention et de l'objet final pour qu'ils voient l'étendue des changements apportés. Ils étaient autorisés à tester et modifier leur pièce autant qu'ils le voulaient. A la fin de la leçon, il leur a été demandé de présenter leur invention et d'expliquer les changements opérés. Plusieurs élèves ont mentionné qu'ils avaient changé leur maquette de la même façon que leurs camarades parce qu'ils avaient vu qu'elle marchait bien quand ils la testaient. En conclusion, **ils étaient tous d'accord pour reconnaître que les scientifiques utilisent les idées des autres pour améliorer leurs inventions.** »³⁷¹

368. *idem.* p. 67.

369. Une grande partie d'entre elles sont disponibles sur le site du projet ICAN, dirigé par N.G. Lederman : <http://msed.iit.edu/projectican/cube.html> (consulté août 2014)

370. *idem.* p. 66.

371. C. Quigley, K. Pongsanon et V.L. Akerson. « If we teach them, they can learn : Young students' views of nature of science during an informal science education program ». *Journal of Science Teacher Education*, op. cit., p. 145.

Tentativeness

Scientific knowledge changes over time as new data is developed and old data is re-interpreted. While this knowledge may change over time, the bulk of scientific knowledge is very reliable – reliable enough for many medical and technological advances to occur.

Empirical

Scientific knowledge is based on evidence.

Creativity

Scientists are creative as they generate explanations of evidence. Data does not interpret itself!

Theory and Law

Both laws and theories are very important in science. Theories and laws have different jobs. Laws are statements of patterns and regularities in the natural world. Theories are explanations for those patterns. Scientific laws and theories are both well-substantiated and have much evidence to support them. A theory does not become a law – they do different things.

Observation vs. Inference

Scientists make observations of natural phenomena and make inferences as to what these data mean. For example, you may observe that a houseplant's leaves are wilted, droopy, and brown. Then, you might infer that the house plant has not been watered in a long time.

Social and Cultural Context

Scientists and the practice of science exist within a certain social and cultural context. This social and cultural context may shape the kinds of questions, methods, and interpretations used by scientists. Similarly, science impacts the social and cultural context.

Subjectivity

Scientists are people who have their own background knowledge and theoretical perspectives. When they make observations, they (just like all people) “see” the information in light of these personal perspectives.

Nature of Science



Figure 3.3.2.2.a. : Poster utilisé avec des élèves de primaire³⁷²

Les critères d'évaluation de la compréhension de la science au primaire sont également sensiblement modifiés par rapport à ceux utilisés pour le secondaire³⁷³. Définissant trois niveaux (inadéquat, adéquat, informé) pour qualifier la compréhension des caractéristiques du NoS, V. Akerson propose pour le primaire le codage suivant :

372. Valarie L. Akerson et al. « Evidence-based Strategies for Teaching Nature of Science to Young Children ». *Journal of Kirsehir Education Faculty*, op. cit., p. 69.

373. Norman G. Lederman et al. « Views of nature of science questionnaire : Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science ». *Journal of Research in Science Teaching*, 2002, vol. 39 (6), pp. 497–521.

Etude Empirique	Inadéquat : la science est en tout, la science suit une méthode universelle Adéquat : la science étudie des choses Informé : la science utilise des données pour construire des propositions et créer des idées. Les scientifiques essaient en permanence de comprendre notre monde
Provisoire	Inadéquat : la science ne change pas Adéquat : la science change quand on en apprend plus ou lorsqu'on a de nouvelles technologies Informé : la science change quand on en apprend plus ou que les scientifiques réinterprètent des données existantes
Observation and inference (Comment les scientifiques savent-ils que les dinosaures ont vraiment existé ?)	Inadéquat : Les scientifiques ont vu des dinosaures. Les scientifiques ont lu des choses sur les dinosaures. Ils sont sûrs Adéquat : Les scientifiques ont rassemblés des indices de l'existence des dinosaures (os, fossiles, etc.). Ils en sont <u>pratiquement</u> sûrs. Informé : Les scientifiques ont examiné des indices (os, fossiles, etc.) et inféré que les dinosaures ont dû exister. Ils en sont <u>pratiquement</u> sûrs mais pourraient changer d'idée sur la base de nouveaux indices, ou en réexaminant les indices existants d'une façon différente pour créer une idée de ce à quoi les dinosaures pouvaient ressembler. Tous les dinosaures sont morts il y a longtemps.
Subjective (Les scientifiques ont des idées différentes sur la façon dont les dinosaures ont disparu. Si les scientifiques ont tous les mêmes faits sur les dinosaures, pourquoi penses-tu qu'il ne sont pas d'accord ?)	Inadéquat : S'ils avaient plus d'information, ils seraient tous d'accord Adéquat : Les scientifiques ont différentes interprétations des faits Informé : Les scientifiques ont différentes interprétations des faits parce qu'ils ont des expériences et des connaissances différentes
Créativité (Penses-tu que les scientifiques utilisent leur imagination quand ils travaillent ?)	Inadéquat : Non, ils ne peuvent pas imaginer des choses parce que cela ne serait pas réel Adéquat : Oui, ils peuvent utiliser leur imagination pour élaborer des investigations Informé : Oui, ils peuvent utiliser leur imagination pour élaborer des investigations, interpréter leurs données et créer des explications

Tableau 3.3.2.2.b. : Exemple de codage de différentes caractéristiques sur trois niveaux³⁷⁴

On reste cependant perplexe devant les conclusions contradictoires de certains des articles de cette série. Ainsi, des élèves de niveau K-1 et K-2 sont tantôt présentés comme ne comprenant majoritairement pas la distinction entre observations et inférences³⁷⁵ et tantôt comme en ayant tous une représentation adéquate, et ce en fin de programmes éducatifs similaires³⁷⁶.

374. Valarie Akerson & Lisa A. Donelli. « Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain ? ». *International Journal of Science Education*, op. cit., p. 108.

375. « Only 3 out of 15 students could record both observations and inferences correctly./.../Although the majority of the class could not explicate the distinction between observation and inference, some students were able to give the definition of inference and its role in science ». C. Quigley, K. Pongsanon et V.L. Akerson. « If we teach them, they can learn: Young students' views of nature of science during an informal science education program ». *Journal of Science Teacher Education*, op. cit., p. 142.

376. 8 élèves de K-2 sur 8 et 8 élèves de K-1 sur 9 y sont indiqués comme ayant une représentation adéquate du NoS. Valarie Akerson & Lisa A. Donelli. « Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain ? ». *International Journal of Science Education*, op. cit., p. 111.

3.3.2.3. En France, un accent sur la démarche

D'après Jean-Pierre Astolfi, l'un des grands noms de la didactique française, la didactique moderne naît en France dans les années 1970 avec Victor Host, qu'il considère comme un pionnier.³⁷⁷ Les premières préoccupations de ce dernier sont l'école primaire et le collège et ses textes ouvrent de nombreuses voies de recherche :³⁷⁸

- l'attitude envers les sciences ;
- la méthode scientifique ; Host la décompose en sous-domaines : démarche scientifique avec explicitation d'un problème, observation, expérimentation, mesure, communication ;
- les concepts ; Host recherche ce qu'il appelle alors les *représentations spontanées* et des formulations adaptées aux élèves.

Une question centrale concerne les démarches à mettre en œuvre pour enseigner les sciences. Cette question ancienne a de multiples réponses, comme Jean-Yves Cariou l'expose dans sa revue de littérature très complète.³⁷⁹

Pour mieux cerner les façons d'enseigner la démarche scientifique, de nombreux fronts ont été très tôt ouverts :

- Gérard de Vecchi développe la notion de *situation-problème* et Christian Orange celle de *problématisation*. Tous deux considèrent, dans l'esprit de Bachelard, que sans problème, il n'y a pas de science.^{380, 381, 382}
- André Giordan développe la notion de « *conception* » et propose le modèle allostérique.³⁸³ L'identification des conceptions des élèves va occuper un nombre considérable de chercheurs français dans les années 70-90. Les tentatives sont ensuite nombreuses pour sensibiliser les enseignants à cet obstacle à l'enseignement.^{384, 385, 386}

377. Jean-Pierre Astolfi. *Comment les enfants apprennent les sciences* (1998). Ed. Retz, Paris, 2006, p. 217. Parmi les didacticiens que Victor Host a contribué à former, il se cite lui-même ainsi qu'André Giordan et Jean-Louis Martinand.

378. Victor Host, « L'Initiation à la méthode scientifique : l'étude de la nature », in *Pédagogie fonctionnelle pour l'école élémentaire*, dir. Louis Legrand, t. 2, Paris, Nathan, 1973. Extrait repris dans *Comment les enfants apprennent les sciences*, op. cit., pp. 220-224.

379. Jean-Yves Cariou. *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche d'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*, Thèse de doctorat, Université de Genève, 2009, pp. 11-59 et 191-266.

380. « Il n'y a de science que si, au moins à un certain moment, on entre dans une activité de résolution de problème ! Poser-résoudre un problème pour construire une théorie ou un modèle explicatif, c'est l'objet même de la science ». Gérard de Vecchi, *Enseigner l'expérimental en classe*, éd. Hachette éducation, Paris, 2006, p. 108.

381. « Les savoirs scientifiques sont intimement liés à des problèmes explicatifs et ne peuvent pas se réduire aux solutions des problèmes ». Christian Orange, *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*, éd. De Boeck, Bruxelles, 2012.

382. Aster, numéro thématique *Problème et problématisation*. INRP, n°40, Christian Orange (coord.), 2005.

383. André Giordan et Gérard De Vecchi, *Aux Origines du savoir (Les Origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques, 1987)*, éd. Ovadia, Nice, 2012.

384. André Giordan, *Une didactique pour les sciences expérimentales*, éd. Belin, col. Guide Belin de l'enseignement, Paris, 1999.

385. Jean-Pierre Astolfi, *L'Ecole pour apprendre*, éd. ESF, Paris, 1992.

- La modélisation en sciences et les difficultés qu'elle représente pour les élèves mobilisent Jean-Louis Martinand ainsi qu'Andrée Tiberghien. Tous deux développent des outils pour rendre compte de ses différentes facettes (e.g. la notion de registre).^{387, 388, 389, 390}
- Le développement d'attitudes favorables à l'apprentissage et les rapports au savoir qu'entretiennent les élèves intéressent André Giordan et Gérard de Vecchi. Ils considèrent les attitudes comme inextricablement liées à la démarche scientifique³⁹¹ tandis que Bernard Charlot explore les rapports au savoir³⁹².
- Le statut de l'observation et celui de l'expérimentation sont régulièrement questionnés.^{393, 394}
- La communication en cours de science et les représentations graphiques font également l'objet de recherche.^{395, 396} Depuis quelques années, le rôle et la nature de l'argumentation en science sont devenus des préoccupations importantes.^{397, 398}

Dès l'origine, un objectif essentiel est d'identifier des stratégies d'enseignement aussi favorables que possible à l'appropriation par les élèves de compétences relatives à la démarche scientifique. Enseigner les sciences, c'est alors initier les élèves à la démarche scientifique, la science étant considérée avant tout comme une méthode pour comprendre le monde. La question de ce que les élèves doivent savoir sur le NoS est rarement posée en tant que telle. Cela reste vrai encore aujourd'hui pour la plupart des didacticiens français qui s'intéressent à l'enseignement des sciences à l'école primaire, au contraire des didacticiens anglo-saxons.

386. Laurence Viennot, *Raisonnement en physique, la part du sens commun*, éd. De Boeck, coll. Pratiques pédagogiques, Bruxelles, 1996. Et également, *En Physique, pour comprendre*, éd. EDP Sciences, Paris, 2011.

387. Jean-Louis Martinand, « Introduction à la modélisation » in *Actes de l'Université d'été Tecne*, E.N.S. Cachan, 6-10 juillet 1998. Accessible sur le site de l'INRP : <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/TicD.htm> (consulté août 2014).

388. P. Brna, M. Baker, K. Stenning et A. Tiberghien (dir.). *The role of communication in learning to model*, éd. Lawrence Erlbaum associates, Londres, 2002.

389. *Aster*, numéro thématique *Modèle et modélisation*. INRP, n°7, Anne Vérin et Yvette Ginsburger-Vogel (dir), 1988.

390. *Aster*, numéro thématique *Expérimenter, modéliser*, INRP, n°8, Anne Vérin et Yvette Ginsburger-Vogel (dir), 1989.

391. André Giordan, *Une didactique pour les sciences expérimentales*, op. cit. p. 55 ; Gérard de Vecchi, *Enseigner l'expérimental en classe*, op. cit. p. 51.

392. Bernard Charlot. *Du Rapport au savoir*, éd. Anthropos, 1999.

393. *Didaskalia*, numéro thématique *L'Expérimental dans l'enseignement des sciences*. INRP, n°9, Louise Guilbert (coord.), 1996 ; Yves Gingras et Benoît Godin, *Expérimentation, instrumentation et argumentation*. *Didaskalia*, numéro thématique *Expérimentation et Modélisation*, n°11, 1997, pp. 149-160.

394. Mais aussi les ouvrages déjà cités *Une didactique pour les sciences expérimentales* d'André Giordan et *Enseigner l'expérimental en classe* de Gérard de Vecchi.

395. *Aster*, numéro thématique *Raisonnement en sciences*. INRP, n°14, Anne Vérin et Yvette Ginsburger-Vogel (dir), 1992.

396. *Aster*, numéro thématique *Représentations graphiques dans l'enseignement scientifique et technologique*. INRP, n°48, Christian Buty et Brigitte Peterfalvi (coord.), 2009.

397. Christian Buty et Christian Plantin (dir.), *Argumenter en classe de sciences*. éd. INRP, Lyon, 2008.

398. Christian Orange, *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*, op. cit.

3.3.2.4. Nature de la science scolaire et contraintes psychocognitives

On sait au moins depuis Jean Piaget que le développement cognitif des élèves de l'école primaire n'est pas achevé. De nombreux psychologues et cognitivistes se sont donc interrogés sur ce que les élèves sont capables de comprendre de la science en fonction de l'état de leur développement.

Samuel Joshua et Jean-Jacques Dupin proposent une revue exhaustive de ces travaux dans la section *Repères psychocognitifs* de leur *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*.³⁹⁹ Pour eux, si « l'influence des travaux de Piaget [sur les recherches françaises en didactique des sciences] n'est guère niable », elle peut s'avérer à double tranchant :

« Les écrits proprement pédagogiques de Piaget sont peu nombreux et se limitent en fait à la prescription de donner un environnement matériel riche, et à une série d'« interdits », comme de ne pas chercher à enseigner une capacité qui appartiendrait à un stade supérieur à un enfant trop jeune (par exemple, le raisonnement « toutes choses égales par ailleurs » qui ne pourrait être abordé avant le « stade formel » [après 12-13 ans] ». »⁴⁰⁰

Joshua et Dupin concluent sur une mise en garde à propos de ces « interdits » posés par Piaget :

« Même si le cadre piagétien fournit un bon paradigme d'interprétation, son manque de sensibilité aux différences de situation comme aux différences de contenus en ferait un outil inadéquat, du moins si on le prend au pied de la lettre, pour penser une didactique des sciences. »⁴⁰¹

Les limites du développement des élèves étant particulièrement évidentes à l'école primaire, les travaux de Piaget ont souvent servi à justifier, en France comme à l'étranger, une limitation des ambitions de la formation des jeunes élèves de l'école primaire.

Kathleen Metz n'hésite pas à faire remonter à sa lecture (selon elle mal comprise) une grande partie des limites imposées par les prescripteurs sur le contenu des programmes de primaire américains : « de nombreuses sources indiquent que cette approche limitative a été dérivée de, ou, dans une large mesure, très fortement influencée par, les stades du développement cognitif de Piaget. »⁴⁰²

« Tout d'abord, les structures logico-mathématiques de la sériation et de la classification constituent des piliers intellectuels au niveau opérationnel concret. En conséquence, l'observation, la sériation, la catégorisation, les inférences qui leur sont associées et la communication sont des objectifs appropriés chez les élèves d'élémentaire en termes de processus scientifique. Deuxièmement, les enfants au stade opérationnel concret sont des « penseurs concrets », dont la pensée logique est liée à la manipulation d'objets concrets. En conséquence, la science scolaire élémentaire a besoin de s'appuyer constamment sur des activités manipulatoires. Les abstractions, les idées non étroitement liées à du concret manipulable sont inaccessibles à des élèves au stade opérationnel concret et devraient être renvoyées à plus tard. Troisièmement, ce n'est pas avant l'adolescence que les enfants deviennent des penseurs hypothético-déductifs qui

399. Samuel Joshua et Jean-Jacques Dupin. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. éd. PUF, Paris, 1993, pp. 71-79.

400. *idem*, p. 97.

401. *idem*, p. 98.

402. Kathleen E. Metz. « Reassessment of developmental constraints on children's science instruction ». *Review of Educational Research*, 1995, vol. 65 (2), pp. 93-127 (p. 94).

perçoivent la logique d'une expérience contrôlée et de l'inférence. En conséquence, il est nécessaire de renvoyer à plus tard l'investigation scientifique au sens de la planification et de l'implémentation d'expériences et de la réalisation d'inférences à partir de leurs résultats complexes. (...) L'analyse du présent article affaiblit ces hypothèses développementales. »⁴⁰³

Constatant que les programmes se contentent le plus souvent d'exiger des compétences élémentaires (observer, communiquer, comparer, ordonner et trier), Metz appelle donc à des sollicitations plus riches et variées.

Dans une série d'articles ultérieurs, elle montre que dans des situations familières ou/et dans un contexte qui fait sens pour eux, les élèves sont capables de développer des raisonnements épistémologiques robustes.^{404, 405}

Son article de 1995, « Reassessment of developmental constraints on children's science instruction », est abondamment cité par les didacticiens des sciences américains pour lesquels il semble avoir eu un rôle libérateur. La recherche sur ce que l'on peut attendre d'un élève de primaire dans un contexte d'enseignement scientifique est aujourd'hui en plein développement dans cette communauté.^{406,407}

L'ouvrage de référence actuel sur l'enseignement des sciences de la maternelle au collège aux États-Unis, *Taking Science to School*, n'hésite pas à s'appuyer sur cet article de Metz pour conclure que l'enseignement des sciences à l'école primaire est « *suboptimal* ». ⁴⁰⁸ Il conclut également que « *les enfants ont le potentiel pour s'engager dans des investigations sophistiquées, sous réserve qu'on leur fournisse des expériences appropriées* ». ⁴⁰⁹

Il devient alors pensable, en tout cas chez de nombreux anglo-saxons, de parler de science scolaire et donc de se demander ce que peut être le NoS à l'école primaire. La bascule est récente : si les « *Next Generation Science Standards* » aux États-Unis explicitent ce que les élèves doivent savoir du NoS dès le CE1, dans les précédents standards de 1996, il n'était pas fait mention du NoS avant le niveau K-5 (CM2).

403. *idem*, p. 95.

404. Kathleen E. Metz. « Children's Understanding of Scientific Inquiry : Their Conceptualization of Uncertainty in Investigations of Their Own Design ». *Cognition and Instruction*, 2004, vol. 22 (2), pp. 219–290.

405. Kathleen E. Metz. « Disentangling Robust Developmental Constraints from the Instructionally Mutable: Young Children's Epistemic Reasoning about a Study of Their Own Design », *Journal of the Learning Sciences*, 2011, vol. 20 (1), pp. 55–110.

406. Russel Tytler et Suzanne Peterson. « From "Try It and See" to Strategic Exploration : Characterizing Young Children's Scientific Reasoning », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41(1), pp. 94–118.

407. William A. Sandoval et Aylin Cam. « Elementary Children's Judgments of the Epistemic Status of Sources of Justification », *Science Education*, 2011, vol. 95 (3), pp. 383–408.

408. National Research Council. (2007). *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Richard A. Duschl, Heidi A. Schweingruber et Andrew W. Shouse (dir.). Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, The National Academies Press, U.S.A., 2007. p. 55.

409. *idem*, p. 151.

3.3.3. Science et non science : continuum ou démarcation ?

Les caractéristiques de la science proposées aux élèves tant par les programmes que par les didacticiens sont le plus souvent présentées sous forme d'affirmations : la science *est, consiste à, utilise, porte sur, implique de* etc.

La plupart des formules employées posent autant de conditions nécessaires à la scientificité d'une activité : celles qui les vérifient peuvent relever de la science ; les autres non. Cette approche revient donc à définir une *démarcation* entre science et non science.

Dans cet esprit, elles peuvent s'interpréter en termes de *critères de scientificité* (CS) : un critère de scientificité est un test objectif qui permet de faire un tri en termes de scientificité, entre démarches et travaux *recevables* comme scientifiques (du moins en ce qui concerne l'aspect considéré), d'une part, et *non recevables* d'autre part ; c'est une condition nécessaire, mais non suffisante.

Si l'on considère par exemple la formule « *les scientifiques étudient le monde naturel et matériel* » (Next Génération Science Standards, K-2), il est possible de formuler le CS associé : « *l'étude porte sur le monde naturel et matériel* ». Si le critère n'est pas vérifié (*i.e.* l'étude ne porte pas sur le monde naturel et matériel), alors ce n'est pas de la science.

Il est toutefois possible d'envisager la scientificité en termes de *continuum*. C'est ce que proposent par exemple Mike Smith et Lawrence Scharmann. Aux questions du type « *Ce domaine d'étude est-il scientifique ?* » ou « *Quelles caractéristiques doit posséder un domaine d'étude pour être reconnu comme scientifique ?* », ils proposent de substituer « *Quelles caractéristiques du domaine d'étude font qu'il est plus ou moins scientifique ?* » ou « *Dans quelle mesure ce domaine d'étude est-il scientifique ?* ». ⁴¹⁰

Plutôt que de définir la science scolaire, ils proposent des descripteurs qui permettent de positionner une pratique sur un axe des « pratiques les plus au moins scientifiques ». Ceux-ci s'inspirent de nombreux didacticiens, épistémologues et scientifiques : « *autant que possible, nous avons sélectionné des caractéristiques pour lesquelles il y a des données empiriques qui suggèrent qu'elles sont acceptées par une majorité de philosophes et/ou de scientifiques* ». ⁴¹¹

Ils aboutissent alors au jeu suivant de caractéristiques augmentant la scientificité de la pratique :

- (a) La science est empirique
- (b) Les propositions scientifiques sont testables (ou réfutables)
- (c) Les observations et les test scientifiques peuvent être reproduits
- (d) La science est provisoire (ou faillible)
- (e) La science corrige ses propres erreurs
- (f) La science valorise fortement les théories qui ont le plus grand pouvoir explicatif
- (g) La science valorise le pouvoir prédictif
- (h) La science valorise la fécondité
- (i) La science valorise l'ouverture d'esprit
- (j) La science valorise l'économie
- (k) Les scientifiques exigent la cohérence logique de leurs explications
- (l) La science valorise le scepticisme

410. L.C. Scharmann et M.U. Smith. « Defining versus describing the nature of science : A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators ». *Science Education*, 2001, vol. 83 (4), pp. 493–509.

411. *idem.* p. 500.

Inversement, un autre jeu de descripteurs en diminue la scientificité :

Embrasser une position théologique
Accorder plus de valeur à l'autorité qu'aux indices
Valoriser la foi plutôt que la raison⁴¹²

Ce second type d'approche, qu'on peut qualifier de continuiste, est particulièrement utile pour déterminer le degré de scientificité de travaux dans des champs disciplinaires intégrant des pratiques de natures très variées, comme les sciences humaines. Cet avantage semble toutefois plus limité tant qu'on se limite au seul champ de la physique, *a priori* plus homogène.

Elle semble également inspirée au moins en partie par la quête d'une réponse sinon objective, du moins institutionnelle, aux revendications d'égal traitement entre la science de la communauté scientifique et celle des tenants d'autres idéologies, comme le créationnisme, et au besoin des élèves de se positionner dans les polémiques qui les accompagnent parfois. La question du statut du Créationnisme est en particulier sous-jacente dans nombre d'études américaines.

412. *idem*, pp. 500–501.

2.4. Approches de la démarche d'investigation à l'école

« Lorsque j'exige pareil effort d'un mot, je lui octroie toujours une prime. »

Humpty Dumpty⁴¹³

L'idée d'impliquer les enfants dans leur propre découverte du monde est sans doute aussi ancienne que l'enseignement. De la maïeutique socratique à l'*Emile* de Jean-Jacques Rousseau en passant par le témoignage des plaisirs scientifiques d'un René Descartes enfant,⁴¹⁴ les sources de ce que l'on appelle aujourd'hui la *démarche d'investigation* (D.I.) sont anciennes et prestigieuses.⁴¹⁵ On pourrait en citer de nombreuses autres encore, tant les origines de la démarche d'investigation sont riches et variées. Plus près de nous, Marie Curie a développé des séquences complètes d'enseignement des sciences invitant ses jeunes élèves à tester leurs idées par eux-mêmes⁴¹⁶ qui restent un modèle de pédagogie et une inspiration pour les formateurs d'aujourd'hui.⁴¹⁷

La démarche d'investigation est aujourd'hui prédominante dans l'enseignement des sciences à l'école primaire. Partout dans le monde se développent des initiatives visant à développer ce que l'on nomme du côté anglo-saxon *inquiry*, IBSE (*inquiry-based science education*)⁴¹⁸. Aux Etats-Unis, l'un des principaux promoteurs de cette approche dite "*hands-on*" fut le prix Nobel de physique Leon Lederman, pour lequel « *l'art d'enseigner est d'aller chercher les conceptions initiales étonnantes et fascinantes avec lesquelles les enfants arrivent en classe ; et, avec l'aide de l'enfant, d'essayer de lui montrer que ces conceptions erronées ne sont pas en accord avec le fonctionnement du monde* »⁴¹⁹. En France, elle est progressivement montée en puissance depuis 1996, dans le même esprit, sous l'impulsion en particulier de l'Académie des sciences. Pour cela, Georges Charpak, Pierre Léna et Yves Quéré,⁴²⁰ ont fondé *La Main à la Pâte*.⁴²¹

413. « *When I make a word do a lot of work like that, said Humpty Dumpty, I always pay it extra.* », Lewis Carroll, *De l'autre côté du miroir* (*Through the Looking-Glass, and what Alice Found There*, 1872) ; in *Tout Alice*, éd. GF Flammarion, 1979, p. 281.

414. « *J'avoue être né avec l'esprit ainsi fait que j'ai toujours mis le plus grand plaisir des études, non point à écouter les raisons des autres, mais à les trouver par mon industrie propre, et cela seul m'ayant attiré à l'étude des sciences quand j'étais jeune.* », René Descartes, *Règles pour la direction de l'esprit*, 1628 ; in *Discours de la Méthode*, éd. GF Flammarion, 2000, p. 123.

415. Jean-Yves Cariou. *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche d'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*, Thèse de doctorat, Université de Genève, 2009.

416. *Leçons de Marie Curie*, recueillies par Isabelle Chavanes en 1907, éd. EDP Sciences, 2003.

417. « *Heureux enfants dont l'intelligence et l'imagination sont à chaque instant sollicités* ». Yves Quéré, Préface, *Leçons de Marie Curie*, op. cit., p. 4.

418. C'est par exemple le cas du réseau IAP qui rassemble les Académies des sciences de plus de 80 pays : « *IAP supports a global action towards IBSE development, in order to foster exchanges and communication between a number of national or regional pilot projects* ». Site de l'IAP : <http://www.interacademies.net/Activities/Projects/12250.aspx> (consulté août 2014)

419. Interview de Leon Lederman pour *The Science Studio* (2008).

En ligne : <http://thesciencenetwork.org/media/videos/2/Transcript.pdf> (consulté août 2014).

420. Notons qu'un formateur niçois, Serge Tricoire, accompagnait déjà cet aréopage dans leur découverte du programme "*Hands on*" à Chicago en 1995.

421. Initiative de l'Académie des sciences, *La Main à la Pâte* est devenue une fondation en 2011. Site de la fondation *La Main à la Pâte* : <http://www.fondation-lamap.org> (consulté août 2014).

De façon paradoxale, si l'idée de la démarche d'investigation est limpide (§ 2.4.1.), il reste difficile d'en donner une définition consensuelle. On en trouve de nombreuses et il n'est pas toujours facile de s'y retrouver (§ 2.4.2.). Toutes ces approches de la D.I. ont cependant un point commun : l'importance donnée à l'élève dans la construction des savoirs, par opposition à des pédagogies plus frontales (§ 2.4.4.). En dernière analyse, ce sont les contenus des programmes qui fixent ce que la démarche d'investigation doit être dans la classe (§ 2.4.3.).

2.4.1. UNE IDÉE LIMPIDE

L'idée à la base de la démarche d'investigation est simple : substituer à une pédagogie frontale, où un savoir pré-établi est transmis de l'enseignant à l'élève, une pédagogie du questionnement dans laquelle l'élève co-construit, souvent par l'expérience, des savoirs d'ordre scientifique. Sa mise en musique est plurielle.

4.1.1. Une définition

La démarche d'investigation est avant tout une façon d'induire le questionnement et de le laisser se développer, spontanément mais dans un cadre soigneusement chorégraphié, en encourageant tout à la fois la discussion entre pairs, pour élaborer les réponses, et le recours aussi systématique que possible à l'expérience pour éprouver les réponses des uns et des autres. Le meneur de jeu se fait donc guide et accoucheur, plutôt que figure d'autorité détentrice du savoir.

Cette définition volontairement très souple mérite quelques explicitations.

Une séquence en démarche d'investigation consiste typiquement en :

- une **situation de départ** intrigante
- un **questionnement** provoqué par la situation de départ
- une émission d'idées, d'**hypothèses**
- plusieurs expérimentations pour les **tester**
- une **mise en commun** des résultats
- l'élaboration d'une **réponse**

Par ailleurs, elle exclut le recours à l'**argument d'autorité**, aussi bien de la part des participants que de celle de l'enseignant.

Un cadre soigneusement chorégraphié pour laisser libre court à la spontanéité des élèves

La métaphore d'une « chorégraphie » de l'investigation est empruntée à Lynn Rankin, pour laquelle « *l'enseignement par investigation n'est pas chaotique ; c'est une activité soigneusement chorégraphiée* ». ⁴²² Elle implique qu'une démarche

422. « *Inquiry teaching is not chaotic — it is a carefully choreographed activity.* » Lynn Rankin, « Lessons learned : addressing common misconceptions about inquiry », in *Foundations, vol. 2, Inquiry Thoughts, Views and Strategies for the K-5 Classroom*, éd. National Science Foundation, U.S.A., 1999, pp. 32–37. Accessible sur le site de la NSF : <http://www.nsf.gov/pubs/2000/nsf99148/htmstart.htm> (consulté août 2014)

d'investigation productive n'est pas improvisée, de la part de l'enseignant du moins. Une séquence repose sur une situation de départ qui la lance. Celle-ci peut prendre des formes variées, mais une attention particulière est attachée dès sa conception aux questionnements que cette situation peut susciter et aux obstacles épistémologiques qu'elle permet de travailler.⁴²³

Dans la mesure où la situation de départ intrigue les élèves et fait sens pour eux, elle suscite un questionnement spontané de leur part.⁴²⁴ Il est alors aisé de laisser ce questionnement se développer, les directions qu'il peut prendre ayant idéalement été anticipées pour répondre aux objectifs d'apprentissages visés.

Cette définition de la démarche d'investigation, que nous adoptons dans le présent travail, exclut les démarches dites « ouvertes », dont la seule condition est de partir d'un questionnement d'élèves, quel qu'il soit.

Élaboration des réponses

La démarche d'investigation ouvre alors un terrain de jeu où, dans les termes de Host, « les enfants savent que le maître connaît la réponse, que celle-ci se trouve dans un livre à portée de main mais on cherche à résoudre une énigme, on joue pour avoir le plaisir de développer le pouvoir à connaître par soi-même. »⁴²⁵ Il revient alors aux élèves d'élaborer leurs réponses aux questions qu'ils se posent.

Recours aussi systématique que possible à l'expérience

La mise en œuvre de la démarche d'investigation doit permettre aux élèves de trouver des réponses sans que l'enseignant ait jamais à recourir à l'argument d'autorité. Pour y parvenir, les élèves font alors appel à l'expérience, comprise au sens large et incluant l'observation. Le recours à la modélisation est une autre possibilité, sous réserve de sa confrontation à des observations quand l'expérimentation directe n'est pas possible ou de sa confrontation aux expériences lorsqu'elles le sont.

Démarche d'investigation "simple" ou "enrichie"

Il est par ailleurs possible d'intégrer à une démarche d'investigation des sondes épistémologiques, des retours méta-cognitifs voire un apport épistémologique frontal. On parlera alors de "démarche d'investigation enrichie". Lorsque la distinction s'impose, on parlera par opposition de "démarche d'investigation simple" pour celles qui ne comportent aucun de ces éléments.

Discussion entre pairs et guidage de l'enseignant

Au cours de la démarche d'investigation, l'enseignant demeure la figure d'autorité dans la classe, en particulier pour tout ce qui concerne sa gestion, mais

423. Estelle Blanquet. « Questions de sciences » in U. Bellagamba, E. Picholle & D. Tron (Eds), *Rudyard Kipling et l'enchantement de la technique*, actes des deuxièmes journées interdisciplinaires sciences & fictions de Peyresq. Nice : Somnium (2009). Accessible sur Revel : <http://revel.unice.fr/symposia/scetfictions/index.html>

424. On retrouve des caractéristiques de la situation-problème. Voir par exemple Gérard de Vecchi et Nicole Carmona-Magnaldi, *Faire vivre de véritables situations-problèmes*, éd. Hachette éducation, 2007.

425. Victor Host, « Les Démarches spontanées d'apprentissage et la formation scientifique », *Education et développement*, n°128, 1978. Extrait repris dans *Comment les enfants apprennent les sciences*, op. cit., pp. 239.

il délègue aux élèves le soin de trouver les réponses et se contraint à ne pas les leur donner.

L'expérimentation et la modélisation impliquent de s'accorder sur des règles méthodologiques claires afin de pouvoir les discuter de façon fructueuses. Le questionnement de l'enseignant est alors essentiel pour aider les élèves à accoucher de leurs idées, pour faciliter la démarche et garantir le respect des bonnes pratiques⁴²⁶.

Les interactions entre pairs sont un élément de base de la D.I. Le meneur de jeu s'appuie sur elles pour faire évoluer les représentations de chacun, et elles permettent à chaque participant de frotter ses idées à celles des autres sans avoir directement affaire à lui. L'intégration de la discussion entre pairs dans la définition même de la démarche d'investigation présente l'inconvénient d'en exclure aussi bien les D.I. en "face à face" entre un enseignant et un élève⁴²⁷ que celles menées "en autonomie",⁴²⁸ à l'aide d'un manuel par exemple. Elle permet en revanche de clarifier le statut de l'enseignant face au groupe, dans la configuration de très loin la plus répandue d'un enseignant ou d'un meneur de jeu animant une séquence d'investigation pour un groupe (typ. 4 ou 5 élèves) ou une classe (souvent subdivisée en plusieurs groupes).

4.1.2. Une même idée, plusieurs appellations

L'idée de permettre aux élèves de s'appropriier des éléments de méthodologie scientifique et de construire par eux-mêmes des connaissances scientifiques est très largement partagée chez les didacticiens, même si il est parfois difficile de se retrouver dans l'abondance des sigles et expressions utilisées. En 2002, Anderson notait déjà qu'« *un chercheur peut choisir d'utiliser un terme différent pour une approche que d'autres identifieraient sous le terme de démarche d'investigation.* »⁴²⁹ Cela n'a pas beaucoup changé aujourd'hui.

Ainsi, en France, alors même que l'expression « *démarche d'investigation* » semble avoir enfin trouvé sa place à l'école, le Ministère semble aujourd'hui lui préférer le seul terme d'*investigation*⁴³⁰, et la fondation La Main à la Pâte elle-même, inversement, une formule plus complexe, l'« *enseignement des sciences fondé sur l'investigation* » (ESFI).

426. Joe Eltgeest, « La Bonne question, au bon moment », in *Enseigner les sciences : comment faire ? (Taking the Plunge, 1985)* in Wynne Harlen (dir.), éd. Le Pommier, Paris, 2012. pp. 41-55.

427. La présence d'un unique participant implique que toutes les remises en cause passent par le meneur de jeu. Même en l'absence d'arguments d'autorité, il est alors délicat de construire chez le participant un rapport à la connaissance dégagé de l'idée d'une validation externe par quelqu'un "qui sait".

428. Chercher par soi-même les réponses à un questionnaire fourni par un manuel et formuler sa propre réponse avant de la confronter à celle du manuel peut constituer une sorte de démarche d'investigation. La résolution du conflit entre les réponses trouvées et celles du manuel passe toutefois par la lecture des propositions du manuel. Il est alors délicat de construire chez le participant un rapport à la connaissance dégagé de l'idée d'une validation externe par quelqu'un "qui sait".

429. R. Anderson. « Reforming science teaching : What research says about inquiry ». *Journal of Science Teacher Education*, 2002, vol. 13 (1), pp. 1-12. (p. 4)

430. L'expression « *démarche d'investigation* » apparaît dans les programmes de 2002 en France. Les compléments de 2012 aux programmes de 2008 lui substituent le simple terme d'*investigation*, sans précision supplémentaire et en conservant le texte original des programmes 2008 qui mentionne quant à lui la démarche d'investigation.

Ce dernier sigle est en effet récemment apparu sur le site de la Fondation. Le guide méthodologique intitulé *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?*⁴³¹ y cotoie celui sur *L'Enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Conseils pour les enseignants*⁴³² dans lequel on trouve le cadre de « la démarche scientifique d'investigation ».

On peut parfois craindre que la première conséquence de cette fluidité du lexique soit de noyer la perplexité de certains enseignants dans de nouvelles subtilités langagières. « Vous remarquerez qu'on parle désormais "d'enseignement des sciences fondé sur l'investigation", ce n'est pas par hasard ! »⁴³³ répond ainsi simplement l'un de ses reponsables à la question d'une formatrice sur la distinction entre D.I. et démarche scientifique.⁴³⁴

Les diverses appellations françaises recouvrant essentiellement la même idée, le choix a été fait dans ce travail de conserver l'appellation traditionnelle de "démarche d'investigation", familière à la fois aux enseignants du primaire, au praticien-chercheur et à la communauté des didacticiens des sciences en France.

Des fluctuations et des propositions du même ordre fleurissent aussi dans les autres pays. Ainsi, en Suisse, l'expression n'apparaît pas dans le Plan d'Etudes Romand. On y trouve une « *initiation et un développement de la démarche scientifique* » à l'école primaire. Néanmoins, les « *attentes fondamentales et indications pédagogiques* » fournies laissent planer peu de doute sur le fait qu'il s'agit là encore d'une formulation différente pour parler de la même idée de démarche d'investigation.⁴³⁵

Dans le monde anglo-saxon, de nombreuses appellations différentes recouvrent également la même idée de démarche d'investigation. *Inquiry* reste sans doute le terme le plus ancien et le plus commun. Mais « *Je trouve personnellement la notion de "working scientifically" décrite dans la plupart des programmes australiens (Curriculum Corporation, 1994) préférable [au terme inquiry]* » suggère par exemple Ken Appleton.⁴³⁶ On trouve également :

- IBSE (*inquiry based science education*, expression sur laquelle est construite l'ESFI),
- IBSL (*inquiry based science learning*)
- IBST (*inquiry based science teaching*)

431. Edith Saltiel, *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?*, Publication en ligne le 21 octobre 2005. Accessible sur le site de la Fondation La Main à la Pâte : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe> (consulté août 2014)

432. Travail collectif, *L'Enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Conseils pour les enseignants*, Publication en ligne le 16 décembre 2009. Accessible sur le site de la Fondation La Main à la Pâte : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11941/lenseignement-des-sciences-fond-sur-linvestigation> (consulté août 2014)

433. Forum de la fondation La Main à la Pâte, réponse de Mathieu Hirtzig le 10 juillet 2012 à la question « Quelle différence entre la démarche d'investigation et la démarche scientifique ? ». <http://www.fondation-lamap.org/fr/topic/14129> (consulté août 2014)

434. L'ESFI [enseignement des sciences fondé sur l'investigation] est la traduction française sur le site de la Fondation La Main à la Pâte de l'expression anglo-saxonne IBSE.

435. Plan d'études romand. Accessible sur le site du PER romand : http://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_26/ (consulté août 2014)

436. Ken Appleton, « Elementary Science Teaching », in *Handbook of Research on Science Education*, op. cit., p. 510.

- IBSME (*inquiry based science and mathematics education*), et bien d'autres sigles encore, qu'on ne détaillera pas ici.

2.4.2. DIVERSITE DES APPROCHES THEORIQUES

Si l'idée qui sous-tend la démarche d'investigation est limpide, il existe de multiples façons de la mettre en œuvre et de la définir.

David L. Haury remarquait déjà en 1993 que « *l'enseignement des sciences par investigation a été caractérisé de très nombreuses façons au cours des années et promu via des perspectives très variées* »⁴³⁷. Les choses n'ont pas beaucoup changé depuis. En 2007, Ken Appleton parvenait à la même conclusion dans sa revue de littérature sur l'enseignement à l'école primaire : « *Une difficulté est qu'il n'y a pas de consensus sur ce qui est constitutif de la démarche d'investigation, si ce n'est les tentatives pour la définir dans les programmes — peut-être parce que le terme a été très largement utilisé pendant de nombreuses années* ». ⁴³⁸

Un consensus sur le « cœur » de la démarche d'investigation semble néanmoins possible. Des experts du réseau des Académies des sciences (I.A.P.) proposent ainsi en 2013 une définition de la démarche d'investigation partagée par leurs membres, originaires de plus de 50 pays.⁴³⁹

La D.I. signifie que les étudiants développent progressivement des idées scientifiques cruciales en apprenant comment mener une investigation et comment construire leur propre connaissance et compréhension du monde qui les entoure. Ils font usage de compétences employées par les scientifiques, comme soulever des questions, recueillir des données, raisonner et passer les indices en revue à la lumière de ce que l'on sait déjà, en tirer des conclusions et discuter leurs résultats. Ce processus d'apprentissage est entièrement soutenu par une pédagogie basée sur l'investigation, où l'on entend par pédagogie non seulement l'acte d'enseigner, mais aussi les justifications qui l'étayent.⁴⁴⁰

Définition de la D.I. de l'IAP

4.2.1. Des racines multiples, sources de tension

La démarche d'investigation (D.I.) mêle des notions issues de plusieurs champs disciplinaires, auxquels elle emprunte nombre de ses constituants, et en particulier :

- la didactique, dont les théories de l'apprentissage fournissent des cadres de référence. En Europe, les théories constructivistes — en particulier celle

437. David L. Haury. *Teaching science through inquiry* (1993). Disponible sur le site ERIC Clearinghouse for Science Mathematics and Environmental Education :

<http://www.ericdigests.org/1993/inquiry.htm> (consulté août 2014)

438. Ken Appleton, « Elementary Science Teaching », in *Handbook of Research on Science Education*, op. cit. , p. 510.

439. Wynne Harlen. *Assessment & Inquiry-Based Science Education : Issue in Policy and Practice*. éd. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Program (SEP), Italie, 2012.

440. *idem*. « IBSE means students progressively developing key scientific ideas through learning how to investigate and build their knowledge and understanding of the world around. They use skills employed by scientists such as raising questions, collecting data, reasoning and reviewing evidence in the light of what is already known, drawing conclusions and discussing results. This learning process is all supported by an inquiry-based pedagogy, where pedagogy is taken to mean not only the act of teaching but also its underpinning justifications ».

de Jean Piaget⁴⁴¹ — puis socio-constructivistes comme celle de Vygotsky⁴⁴² ont une influence considérable sur le développement de pratiques pédagogiques moins magistrales et plus centrées sur les élèves. La didactique anglo-saxonne se revendique plus volontiers du « *hands-on learning* » de Dewey.^{443, 444}

- la science professionnelle fournit une pratique sociale de référence.

- l'épistémologie fournit des repères sur ce qu'est la science. Bachelard en France et Thomas Kuhn aux États-Unis sont ainsi considérés comme des références et abondamment cités.

En France, cette diversité est très tôt prise en compte, à une époque où les programmes parlent « d'activités d'éveil » au primaire. C'est Jean-Louis Martinand qui y introduit l'idée de démarche d'investigation⁴⁴⁵ :

« D'abord, la démarche d'investigation autonome (résolution de problèmes) constitue le cœur des activités d'éveil scientifique ; elle correspond aux possibilités de l'enfant, elle est, à son niveau, une authentique démarche scientifique parce qu'elle en assume les fonctions principales ; elle assure donc la cohérence entre les objectifs de développement général et la formation scientifique. Mais elle est aussi la base indispensable pour toute autre démarche, d'une part en faisant déboucher les apprentissages spontanés sur un acquis explicite, d'autre part en donnant aux apprentissages systématiques une référence expérimentale à la fois concrète, diversifiée et commune./.../ Si elles sont indispensables, ni la psychologie, ni l'épistémologie, ni la physique ne donnent de solutions toutes faites aux problèmes pédagogiques. »⁴⁴⁶

On constate cependant que plus les démarches d'investigation s'adressent à des élèves jeunes, plus les préoccupations d'ordre psychologique ou cognitif prennent de l'importance.^{447,448,449,450}

441. Jean Piaget. *Introduction à l'épistémologie génétique. Tome II : La Pensée physique.* éd. Presses universitaires de France, Paris, 1950.

442. L.S. Vygotski. *Pensée et langage* (1934). éd. La Dispute, Paris, 1997.

443. J. Dewey. *Experience and education.* éd. Macmillan, New York, 1938.

444. « *Inquiry in education is rooted in the early 1900s educational philosophy of Dewey, who cautioned about the sharp divide between process and products and about tasks externally assigned in school practice, advocating for what is now termed project-based inquiry. Dewey argued that knowledge is constructed by activity. One learns through doing; thus, a problem-solving approach should be based on practical experiences* ». Katie S. Saunders-Stewart, Petra D. T. Gyles et Bruce M. Shore, « Student Outcomes in Inquiry Instruction: A Literature-Derived Inventory », *Journal of Advanced Academics*, 2012, vol. 23 (1), pp. 5–31. (p. 7)

445. L'expression créée en 1979 refait son apparition dans les programmes français en 2002 en tant que traduction du terme anglais *inquiry*. La démarche d'investigation actuelle prend ses sources plutôt du côté anglo-saxon mais les principes de constitution sont similaires.

446. Jean-Louis Martinand. « Acquis et perspectives de la recherche sur les activités d'éveil en Physique et technologie. » *Les Cahiers de Fontenay*, 1979, n°16 Sciences Physiques, E.N.S. Fontenay, pp. 109–125. (p. 120)

447. Russell Tytler et Suzanne Peterson. « From "Try It and See" to Strategic Exploration : Characterizing Young Children's Scientific Reasoning », *Journal of Research in Science Teaching*, 2004, vol. 41(1), pp. 94–118.

448. National Research Council. (2007). *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8.* Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Richard A. Duschl, Heidi A. Schweingruber et Andrew W. Shouse (dir.). Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, The National Academies Press, U.S.A., 2007.

Une conséquence sans doute inévitable de l'intrication d'arguments de nature psychologique et épistémo-scientifique est l'apparition de tensions historiques sur la nature de la démarche d'investigation : accent sur la démarche pédagogique pour certains didacticiens, sur la démarche scientifique pour d'autres. Pour les uns, enseigner les sciences par la démarche d'investigation, c'est avant tout utiliser une approche qui correspond à la façon générale dont on construit des savoirs et qui peut donc s'étendre à d'autres disciplines⁴⁵¹ telles l'histoire (e.g. Pittaway⁴⁵²). D'autres, au contraire, la font dériver de la *pratique* scientifique et, de ce fait, la considèrent spécifique à l'enseignement des sciences (e.g. Sandoval⁴⁵³, Chinn et Malothra⁴⁵⁴).

4.2.2. Des objectifs variés

Les raisons invoquées pour mettre en place la démarche d'investigation à l'école sont également très diverses. Certains didacticiens s'intéressent ainsi plus particulièrement aux processus scientifiques mis en jeu (e.g. la modélisation, l'argumentation, l'expérimentation, la problématisation), d'autres à la compréhension de la nature des sciences qu'elle permet, d'autres encore à son impact sur l'attitude des enfants envers les sciences, etc.

Un travail de recension des objectifs pour l'enseignement par démarche d'investigation a par exemple été réalisé par Katie Saunders-Stewart et ses collaborateurs en 2012. Ils identifient pas moins de 16 catégories différentes d'objectifs. Leur revue de littérature s'appuie sur plus de 200 articles de recherche ainsi que sur des programmes scolaires, essentiellement d'origine anglo-saxonne.

Objectifs attribués à la D.I. (Saunders-Stewart)

- a/ Acquisition de faits ou de connaissances, réalisations et apprentissage du processus – le "comment on fait".
- b/ Compréhension de la nature du domaine (e.g. acquisition d'une culture scientifique) et de la nature et de la valeur de l'investigation.
- c/ Compréhension de concepts (par opposition à la mémorisation de faits)

449. National Research Council (2007). *Ready, Set, Science! : Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms*. S. Michaels, A.W. Shouse et H.A. Schweingruber (dir.), The National Academies Press, U.S.A., 2007.

450. K. E. Metz. « Children's Understanding of Scientific Inquiry : Their Conceptualization of Uncertainty in Investigations of Their Own Design ». *Cognition and Instruction*, 2004, vol. 22 (2), pp. 219–290.

451. « *Inquiry is a term used both within education and in daily life to refer to seeking explanations or information by asking questions. It is sometimes equated with research, investigation, or 'search for truth'. Within education, inquiry can be applied in several subject domains, such as history, geography, the arts, as well as science, mathematics, technology and engineering, when questions are raised, evidence is gathered and possible explanations are considered. In each area different kinds of knowledge and understanding emerge. What distinguishes scientific inquiry is that it leads to knowledge and understanding of the natural and made world through direct interaction with the world and through the generation and collection of data for use as evidence in supporting explanations of phenomena and events.* ». Wynne Harlen. *Assessment & Inquiry-Based Science Education : Issue in Policy and Practice*. op. cit., p. 11.

452. Luke Pittaway. « The Role of Inquiry-Based Learning in Entrepreneurship. Education ». *Industry and Higher Education*, 2007, vol. 23 (3), pp. 153–162.

453. W.A. Sandoval. « Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry ». *Science Education*, op. cit.

454. Clark A. Chinn et Betina A. Malhotra. « Epistemologically Authentic Inquiry in Schools : A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks ». *Science Education*, 2002, vol. 86 (2), pp. 175–218.

- d/ Construction d'un savoir ; capacité à concevoir les relations entre concepts ; application des connaissances et des compétences.
- e/ Développement de compétences intellectuelles ou mentales.
- f/ Développement de la capacité à résoudre un problème.
- g/ Appropriation d'un savoir-apprendre et de la notion d'apprentissage tout au long de la vie ; développement de talents personnels (e.g. planifier et organiser) ; habitudes mentales.
- h/ Développement d'une attitude positive à l'égard du sujet ou de l'apprentissage.
- i/ Développement de l'estime de soi ; de la confiance en soi ; optimisation de sa propre efficacité.
- j/ Génération de questions ; curiosité.
- k/ Motivation ; engagement personnel dans une tâche.
- l/ Reproduction de comportements professionnels ; création authentique de produits.
- m/ Développement de l'expertise
- n/ Développement d'un apprentissage social.
- o/ Amélioration de la créativité.
- p/ Motivation pour devenir un citoyen informé ; augmentation de la conscience et de l'action sociales.⁴⁵⁵

Yi-Fen Yeh et al.⁴⁵⁶ identifient quant à eux 9 grands domaines d'étude relatifs à la D.I. après avoir passé au crible 171 articles de recherche, en 2012 toujours :

- a/ nature de la science (NoS)
- b/ investigation scientifique authentique
- c/ construction conceptuelle
- d/ TICE
- e/ compétences pour l'investigation scientifique
- f/ argumentation
- g/ raisonnement
- h/ formation des enseignants
- i/ efficacité des pratiques d'enseignement⁴⁵⁷

Or les différents objectifs affectés à la démarche d'investigation orientent les questions de recherche et scindent le champ en de nombreux sous-domaines plus spécialisés. Les recherches sur la démarche d'investigation s'entremêlent alors avec des domaines d'étude déjà existant, comme par exemple celui qui s'interroge sur les capacités argumentatives des élèves et leurs utilisations de l'argumentation en sciences.

4.2.3. Des formes variées

Pour ne rien arranger, à cette grande diversité d'objectifs pour la D.I. s'ajoute une grande variété de formes.

Ainsi, Alan Colburn propose de distinguer trois grands groupes suivant le degré d'implication de l'enseignant dans la démarche :⁴⁵⁸

455. Katie S. Saunders-Stewart, Petra D. T. Gyles et Bruce M. Shore, « Student Outcomes in Inquiry Instruction: A Literature-Derived Inventory », *Journal of Advanced Academics*, op. cit., p. 24.

456. Yi-Fen Yeh , Tsung-Hau Jen & Ying-Shao Hsu. « Major Strands in Scientific Inquiry through Cluster Analysis of Research Abstracts », *International Journal of Science Education*, 2012, vol. 34 (18), pp. 2811–2842.

457. *idem*, p. 2821.

458. Alan Colburn. « An Inquiry Primer », *Science Scope*, mars 2000. pp. 42–44.

- les D.I. *structurées* (*structured inquiries*), où l'enseignant fixe l'ensemble des paramètres ainsi que la procédure à suivre pour l'investigation ;
- les D.I. *guidées* (*guided inquiries*) où l'enseignant fournit le questionnement et le matériel nécessaire pour l'investigation mais où la procédure à mettre en œuvre pour répondre à la question est à la charge de l'élève ;
- les D.I. *ouvertes* (*open inquiries*) où les élèves formulent leurs propres questionnements.

La définition de la démarche d'investigation que nous avons adoptée correspond, dans cette classification, à la D.I. guidée. Elle exclut la D.I. structurée, où l'élève se contente essentiellement d'exécuter des tâches proposées par l'enseignant, comme la D.I. ouverte, où n'importe quelle question, fructueuse ou non, est source d'investigation.

Dans le même esprit, plutôt qu'une classification, le *National Research Council* (NRC) propose en 2002, un continuum allant d'une investigation partielle (*partial inquiry*) à une investigation complète (*full inquiry*). Ses critères sont explicités dans le Tableau 4.2.3.

Essential Features of Classroom Inquiry and Their Variations

Essential Feature	Variations			
Learner engages in scientifically oriented questions	Learner poses a question	Learner selects among questions, poses new questions	Learner sharpens or clarifies a question provided by the teacher, materials, or other source	Learner engages in a question provided by the teacher, materials, or other source
Learner gives priority to evidence in responding to questions	Learner determines what constitutes evidence and collects it	Learner is directed to collect certain data	Learner is given data and asked to analyze	Learner is given data and told how to analyze
Learner formulates explanations from evidence	Learner formulates explanations after summarizing evidence	Learner is guided in process of formulating explanations from evidence	Learner is given possible ways to use evidence to formulate explanation	Learner is provided with evidence
Learner connects explanations to scientific knowledge	Learner independently examines other resources and forms the links to explanations	Learner is directed toward areas and sources of scientific knowledge	Learner is given possible connections	
Learner communicates and justifies explanations	Learner forms reasonable and logical argument to communicate explanation	Learner is coached in development of communication	Learner is provided broad guidelines to use to sharpen communication	Learner is given steps and procedures for communication
<i>More</i> ← <i>Amount of Learner Self-Direction</i> → <i>Less</i> <i>Less</i> ← <i>Amount of Direction from Teacher or Material</i> → <i>More</i>				
Source: National Research Council. 2002. <i>Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning</i> . Washington, D.C.: National Academy Press.				

Tableau 4.2.3. : Critères proposées par le NRC pour un D.I. partielle ou totale

Plutôt que de se baser sur le degré d'implication de l'enseignant pour identifier les différentes formes que peut prendre une D.I., d'autres didacticiens proposent de se baser sur son « authenticité ». L'évaluation de l'authenticité de la D.I. pratiquée par rapport à une pratique idéalisée la positionne alors sur un autre continuum de pratiques.^{459,460}

459. Clark A. Chinn et Betina A. Malhotra. « Epistemologically Authentic Inquiry in Schools : A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks ». *Science Education*, op. cit.

460. Jean-Yves Cariou. « Histoire des démarches en sciences et épistémologie scolaire ». *RDST*, 2011, n°3, pp. 83-105. (p. 99)

On trouve par ailleurs quasiment autant de formes de démarche d'investigation que de priorités didactiques (e.g. D.I. pour apprendre à modéliser, à argumenter etc.).

De nombreux auteurs se réfèrent par ailleurs aux indications fournies par les programmes soit pour en dériver les différentes formes que peut prendre la démarche d'investigation...^{461, 462} soit pour leur reprocher leur approche de la D.I.

⁴⁶³ Ronald Anderson, didacticien américain auteur de la section consacrée à la démarche d'investigation dans le *Handbook of Research on Science Education*⁴⁶⁴ reconnaît ainsi que les discussions sur la démarche d'investigation sont basées sur les standards américains : « *Current discussion of inquiry is shaped by the National Science Education Standards, the common baseline for defining what quality science instruction should be in contemporary U.S. education* ».

Enfin, l'Europe et l'IAP ont suscité de nombreux programmes de recherche dont chacun a développé sa définition de la démarche d'investigation et les formes qu'elle peut prendre (Addendum 2.b.).

2.4.3. LA DEMARCHE D'INVESTIGATION DANS LES PROGRAMMES DE L'ECOLE PRIMAIRE

Une telle diversité théorique se traduit, en particulier, par une nette instabilité du vocabulaire. En dernière analyse toutefois, ce sont les programmes qui déterminent ce que la démarche d'investigation doit être dans la classe et, à un moment et en un lieu donné du moins, la situation est un peu plus claire pour les enseignants.

Quelques exemples montrent clairement qu'il existe des concordances de vue dans les programmes primaires de nombreux pays. Partout on retrouve l'idée à l'origine de la démarche d'investigation déclinée sous différents noms et différentes formes : permettre aux élèves de s'approprier des éléments de méthodologie scientifique et de construire par eux-mêmes des connaissances scientifiques.

4.3.1. En France

La démarche d'investigation a été introduite en 2002 dans les programmes français du primaire suite au succès de l'expérimentation pilote, impulsée par La

461. Par exemple, Ludovic Morge et Jean-Marie Boilevin, après avoir analysé différentes séquences d'enseignement pour le collège et le lycée, proposent trois critères devant être remplis pour qu'une séquence d'enseignement soit une D.I. : « *l'élève effectue un ou des apprentissages au cours de la séquence en réalisant des tâches qui ne sont pas uniquement des tâches d'ordre expérimental et en participant à la recherche de validité des productions des autres élèves, autrement dit en participant au choix argumenté entre plusieurs méthodes, plusieurs hypothèses, plusieurs protocoles expérimentaux, plusieurs explications, plusieurs modèles.* » (p. 45) in Jean-Marie Boilevin et Ludovic Morge (dir.), *Séquences d'investigation en physique-chimie*, éd. Scérén, CRDP d'Auvergne, col. Repères pour agir, 2007.

462. Roger W. Bybee propose ainsi en 1997 un modèle de démarche d'investigation qu'il nomme "The Five E model" : Engage, Explore, Explain, elaborate, Evaluate. Ce modèle associe explicitement perspectives constructivistes et programmes : « *The BSCS [biology science curriculum study] 5E model takes a curricular perspective, in particular a view that incorporates what we know about how students learn and accomodates many ec-veryday requirements of science teaching.* ». Roger W. Bybee. *Learning Science and the Science of Learning*. éd. National Science Teachers Association Press, U.S.A., 2007.

463. Stéphanie Mathé et Cécile de Hosson. « La Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? » *Didaskalia*, 2008, vol. 32, pp. 41-76.

464. Ronald D. Anderson « Inquiry as an organizing Theme for Science Curricula ». *Handbook of Research on Science Education*. op. cit., pp. 807-830.

Main à la Pâte sous l'égide de l'Académie des sciences.

Les programmes pour l'école primaire sont actuellement ceux de 2008 avec leurs compléments de 2012. Seul le terme d'*investigation* est employé dans les compléments de 2012 :

« Les élèves dépassent leurs représentations initiales par l'observation et la manipulation. Ils mènent des *investigations* qui les amènent à décrire leurs observations et à maîtriser un vocabulaire de plus en plus précis. /.../ C'est en menant les différentes investigations que l'élève pourra mobiliser et s'approprier le vocabulaire nécessaire qui sera systématiquement repris dans le cahier de sciences, particulièrement dans les résumés de connaissances acquises. »⁴⁶⁵

On ne trouve pas mention explicite de la « *démarche d'investigation* » dans les programmes 2012 *stricto sensu*. S'y ajoutent toutefois une définition des compétences attendues en fin de cycle 3 pour le deuxième palier du socle commun, qui précisent :

« Pratiquer une *démarche d'investigation* : savoir observer, questionner ; manipuler et expérimenter, formuler une hypothèse et la tester, argumenter ; mettre à l'essai plusieurs pistes de solutions ; exprimer et exploiter les résultats d'une mesure ou d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit et à l'oral ; maîtriser des connaissances dans divers domaines scientifiques ; mobiliser ses connaissances dans des contextes scientifiques différents et dans des activités de la vie courante (par exemple, apprécier l'équilibre d'un repas) ; exercer des habiletés manuelles, réaliser certains gestes techniques. »⁴⁶⁶

Un retour sur les programmes 2008 permet d'y trouver la démarche d'investigation, au cœur des apprentissages scientifiques puisque :

« Observation, questionnement, expérimentation et argumentation pratiqués, par exemple, **selon l'esprit de la *Main à la pâte*** sont essentiels pour atteindre ces buts ; c'est pourquoi les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique. »⁴⁶⁷

Peu prolixes, les programmes 2008 ne fournissent cependant pas d'indications supplémentaires. Ils invitent à mettre en place la démarche d'investigation selon l'esprit de *La Main à la Pâte* (cf. citation *supra*).

Le site de la fondation *La Main à la Pâte* propose pour sa part un guide écrit par Édith Saltiel, *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?*, destiné « à tous les enseignants du primaire pour les aider à mettre en place une démarche d'investigation et en donnant quelques outils qui s'inspirent de ceux qui ont été mis en place dans un certain nombre de pays »⁴⁶⁸. On y trouve des caractéristiques de la démarche d'investigation, un cadre pour sa mise en place et de très nombreux conseils pratiques pour son implémentation en classe (Figures 4.3.1.a & b).

L'accent est mis dans ce document sur le déroulement de la démarche

465. *Bulletin Officiel* n°1 du 5 janvier 2012, NOR MENE1131499A, pp. 6 & 17.

466. Programmes 2008, *Bulletin Officiel* Hors-série n°3 du 19 juin 2008, NOR MENE0813240A, p. 28. (c'est moi qui souligne)

467. *idem*, p. 24.

468. Présentation du guide élaboré par Edith Saltiel. *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?*, Publication en ligne, 21 octobre 2005. Accessible sur le site de la Fondation *La Main à la Pâte* : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe> (consulté août 2014)

d'investigation et la diversité des méthodes possibles pour mener la recherche, même si l'action directe et l'expérimentation sont à privilégier.

Le guide *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?* cite un autre ouvrage, *Enseigner les sciences à l'école. Outil pour la mise en œuvre des programmes 2002*, co-écrit par l'équipe de *La Main à la Pâte*, à l'occasion de la réforme⁴⁶⁹ qui installait la démarche d'investigation comme démarche pour l'enseignement des sciences au primaire.⁴⁷⁰

Publiés conjointement par le ministère de l'éducation nationale et *La Main à la pâte*, les documents d'accompagnement des programmes⁴⁷¹ proposaient en particulier des caractéristiques de cette démarche et un canevas de séquence (Figure 4.3.1.c.).

- **Unité³** : une caractéristique essentielle de ce type d'enseignement n'est pas d'enseigner uniquement les résultats de la science, mais de permettre aux enfants de construire les connaissances souhaitées en leur permettant d'exprimer leurs idées, d'explicitier leur raisonnement, de tester leurs hypothèses et de chercher à être rigoureux. Ce type de démarche s'articule sur le questionnement des élèves sur le monde réel. Ce questionnement conduit à l'acquisition de connaissances et de savoir faire, à la suite d'une investigation menée par les élèves eux-mêmes guidés par le maître.
 - **Diversité des méthodes** : l'investigation réalisée par les élèves peut s'appuyer sur diverses méthodes, y compris au cours d'une même séance comme l'expérimentation directe, une réalisation matérielle (construction d'un objet, d'un modèle, recherche d'une solution technique), une observation directe ou assistée par un instrument (qui ne soit pas l'ordinateur), une recherche sur documents, une enquête, la réalisation d'une émission de radio, d'un petit film et une visite. Les élèves ne font pas qu'observer : ils peuvent identifier, classer, questionner, faire des prévisions en explicitant les raisons de leur choix, faire des simulations, expérimenter lorsque le sujet s'y prête, noter leurs observations, pour ensuite en faire une synthèse.
- Il va de soi que ces méthodes d'accès sont complémentaires et sont à équilibrer en fonction du sujet d'étude. Cependant, à chaque fois que cela est possible l'action directe et l'expérimentation des élèves sont à privilégier.



Figure 4.3.1.a. : "Unité et diversité de la démarche d'investigation" (Édith Saltiel)⁴⁷²

469. Cette réforme accompagnait le PRESTE (plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école) lancé en 2000. *Bulletin Officiel* n°23 du 15 juin 2000. NOR : MENE0000803N

470. Ministère de la Jeunesse, de l'éducation nationale et de la Recherche, Direction de l'enseignement scolaire, Académie des sciences - *La Main à la Pâte. Enseigner les sciences à l'école. Outil pour la mise en œuvre des programmes 2002. Cycles 1, 2 et 3.* éd. CNDP, 2002. (p. 6)

471. *idem*.

472. *idem*, p. 9

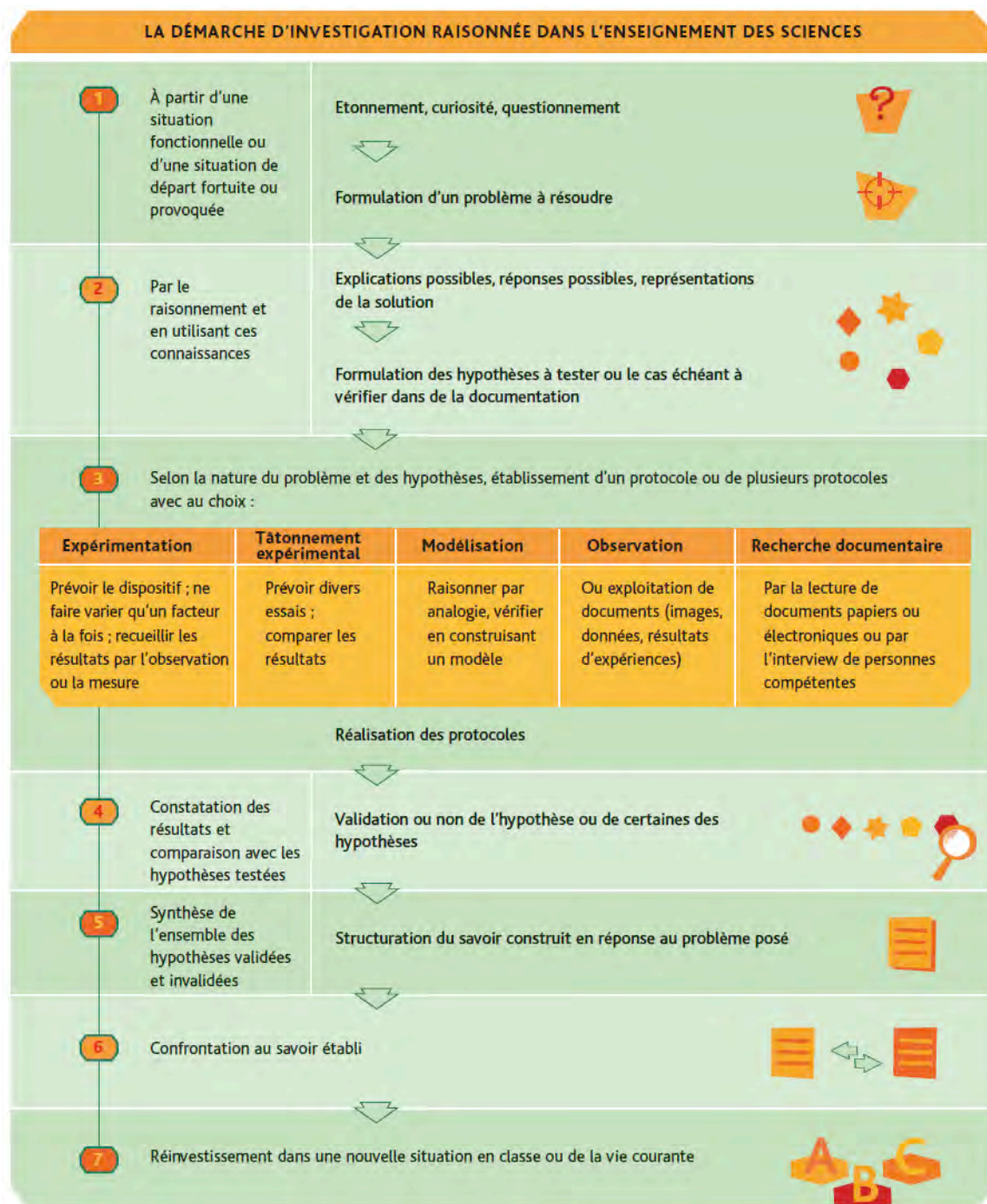


Figure 4.3.1.b. : "L'Investigation, un processus itératif, La démarche pas à pas"(Edith Saltiel)⁴⁷³

473. *idem*, p. 11

Il s'agit d'un document pédagogique opérationnel qui n'a pas la prétention de définir « la » méthode scientifique, ni celle de figer de façon exhaustive le déroulement qui conduit de la problématique à l'investigation, puis à la structuration. Apparentée aux méthodes actives, la démarche proposée pourra être comparée à celle qui est recommandée pour la résolution de problèmes en mathématiques. Par commodité de présentation, cinq moments essentiels ont été identifiés. L'ordre dans lequel ils se succèdent ne constitue pas une trame à adopter de manière linéaire. En fonction des sujets, un aller et retour entre ces moments est tout à fait souhaitable. En revanche, chacune des phases identifiées est essentielle pour garantir l'investigation réfléchie des élèves.

Divers aspects d'une démarche expérimentale d'investigation

La démarche qui sous-tend le plan de rénovation des sciences et de la technologie à l'école obéit aux principes d'unité et de diversité.

– Unité : cette démarche s'articule sur le questionnement des élèves sur le monde réel : phénomène ou objet, vivant ou non vivant, naturel ou construit par l'homme. Ce questionnement conduit à l'acquisition de connaissances et de savoir-faire, à la suite d'une investigation menée par les élèves guidés par le maître ;

– Diversité : l'investigation réalisée par les élèves peut s'appuyer sur diverses méthodes, y compris au cours d'une même séance :

- expérimentation directe,
- réalisation matérielle (construction d'un modèle, recherche d'une solution technique),
- observation directe ou assistée par un instrument,
- recherche sur documents⁵,
- enquête et visite.

La complémentarité entre ces méthodes d'accès à la connaissance est à équilibrer en fonction de l'objet d'étude.

Chaque fois que cela est possible, d'un point de vue matériel et déontologique, on doit privilégier l'action directe et l'expérimentation des élèves.

Canevas d'une séquence⁶

Le choix d'une situation de départ

- Paramètres choisis en fonction des objectifs des programmes.
- Adéquation au projet de cycle élaboré par le conseil des maîtres du cycle.
- Caractère productif du questionnement auquel peut conduire la situation.
- Ressources locales (en matériel et en ressources documentaires).
- Centres d'intérêt locaux, d'actualité ou suscités lors d'autres activités, scientifiques ou non.
- Pertinence de l'étude entreprise par rapport aux intérêts propres de l'élève.

La formulation du questionnement⁷ des élèves

- Travail guidé par le maître qui, éventuellement, aide à reformuler les questions pour s'assurer de leur sens, à les recentrer sur le champ scientifique et à favoriser l'amélioration de l'expression orale des élèves.
- Choix orienté et justifié par le maître de l'exploitation de questions productives (c'est-à-dire se prêtant à une démarche constructive prenant en compte la disponibilité du matériel expérimental et documentaire, puis débouchant sur un apprentissage inscrit dans les programmes).
- Émergence des conceptions initiales des élèves⁸, confrontation de leurs éventuelles divergences pour favoriser l'appropriation par la classe du problème soulevé.

L'élaboration des hypothèses et la conception de l'investigation

- Gestion par le maître des modes de groupement des élèves (de niveaux divers selon les activités, de la dyade au groupe-classe entier) ; consignes données (fonctions et comportements attendus au sein des groupes).
- Formulation orale d'hypothèses dans les groupes.
- Élaboration éventuelle de protocoles⁹, destinés à valider ou à invalider les hypothèses.
- Élaboration d'écrits précisant les hypothèses et protocoles (textes et schémas).
- Formulation orale et/ou écrite par les élèves de leurs prévisions : « que va-t-il se passer selon moi », « pour quelles raisons ? ».

- Communication orale à la classe des hypothèses et des éventuels protocoles proposés.

L'investigation conduite par les élèves

- Moments de débat interne au groupe d'élèves : les modalités de la mise en œuvre de l'expérience.
- Contrôle de la variation des paramètres.
- Description de l'expérience (schémas, description écrite).
- Reproductibilité de l'expérience (relevé des conditions de l'expérience par les élèves).
- Gestion des traces écrites personnelles des élèves.

L'acquisition et la structuration des connaissances

- Comparaison et mise en relation des résultats obtenus dans les divers groupes, dans d'autres classes...
- Confrontation avec le savoir établi (autre forme de recours à la recherche documentaire), respectant des niveaux de formulation accessibles aux élèves.
- Recherche des causes d'un éventuel désaccord, analyse critique des expériences faites et proposition d'expériences complémentaires.
- Formulation écrite, élaborée par les élèves avec l'aide du maître, des connaissances nouvelles acquises en fin de séquence.
- Réalisation de productions destinées à la communication du résultat (texte, graphique, maquette, document multimédia).

Figure 4.3.1.c. : Aspects et canevas d'une séquence en démarche expérimentale d'investigation

4.3.2. En Suisse

En Suisse, les « attentes fondamentales » du PER romand fixent des objectifs à atteindre en fin de cycle 1 (8 ans) et de cycle 2 (12 ans). Il n'y est pas fait explicitement mention de la démarche d'investigation mais il y est fait mention de la démarche scientifique.

Il est attendu des élèves des compétences très similaires à celles visées par un enseignement en démarche d'investigation.

En fin de cycle 1, l'élève :

- formule au moins une question ou une hypothèse au sujet d'une problématique
- identifie un facteur (une variable ou une constante) intervenant dans une problématique
- propose un instrument de mesure adéquat dans une situation problématique donnée
- confronte ses résultats d'observation, d'expérimentation ou de recherches documentaires pour infirmer ou confirmer une hypothèse

- compare deux éléments (*objets, plantes, animaux, partie du corps,...*) selon des critères donnés
- choisit un critère pour trier une collection et l'utilise pour la présenter
- communique ses résultats par oral et à l'aide d'un dessin annoté⁴⁷⁴

En fin de cycle 2, l'élève :

- formule au moins une question et/ou une hypothèse qui utilise(nt) les éléments de la situation au sujet d'une problématique
- choisit une piste de recherche, un dispositif d'exploration qui permet de répondre à une question de recherche (dans une liste de propositions)
- met en évidence quelques facteurs (des variables et des constantes) intervenant dans l'explication d'une problématique
- récolte des résultats ou des observations pertinents en regard de la problématique étudiée
- choisit un ou plusieurs instruments de mesure adéquats dans une problématique donnée
- utilise correctement des instruments de mesure (longueur, capacité, masse, durée, température)
- organise des données à l'aide de différents outils de représentation
- confronte ses résultats d'observation, d'expérimentation pour infirmer ou corroborer des hypothèses
- reconnaît certaines phases d'une recherche
- communique certaines phases d'une recherche⁴⁷⁵

En parallèle, l'élève apprend à représenter des phénomènes en :

« imaginant et en utilisant divers outils de représentation ; menant des observations répétées ; se référant à diverses sources ; triant et organisant des données ; en confrontant et en communiquant ses observations, ses résultats, ses constats, ses interprétations ; mobilisant, selon la situation, la mesure et/ou des outils mathématiques ; se posant des questions et en exprimant ses conceptions »⁴⁷⁶

Les objectifs fixés par le PER romand en fin de cycle 2 (12 ans) et les compétences attendues en fin de cycle 3 français (11 ans) pour la maîtrise du socle commun sont similaires.

4.3.3. Aux États-Unis

Les pratiques scientifiques sont des comportements mis en œuvre par les scientifiques pour mener leurs recherches et élaborer des modèles et des théories sur le monde naturel. Le National Research Council utilise le terme de *pratiques* plutôt que celui de *compétences* pour souligner le fait que s'engager dans une investigation scientifique exige une coordination simultanée des connaissances et des compétences. L'utilisation du terme *pratiques* contribue à éviter l'interprétation d'une compétence comme la nue maîtrise d'une activité ou d'une procédure. Une partie des intentions du NRC est de mieux expliquer et développer d'une part ce qui est entendu par "*investigation*" en sciences et d'autre part l'étendue des pratiques cognitive, sociale et physique qu'elle exige.⁴⁷⁷

474. Plan d'études romand. http://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_16/ (consulté août 2014)

475. Plan d'études romand. http://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_26/ (consulté août 2014)

476. Plan d'études romand. http://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_15/ (consulté août 2014)

477. Liste détaillée sur le site des *Next Generation Science Standards* : <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>. (consulté août 2014)

Aux États-Unis, il n'y a pas de programmes fédéraux mais des recommandations du *National Research Council* (cf. section 2.3.3.1.2.). Dans les *Next Generation Science Standards*, le choix est fait de ne pas proposer de définition de la démarche d'investigation mais plutôt de fournir une liste de « pratiques » dans lesquelles doivent être engagés les élèves, en les déclinant de façon très précise par niveau d'âge, du CE1 au lycée.⁴⁷⁸

Pratiques scientifiques et ingéniorales
1. Se poser des question (pour la science) et définir des problèmes (pour l'ingénierie) 2. Développer et mettre en œuvre des modèles 3. Planifier et mener à bien une investigation 4. Analyser et interpréter des données - Utiliser les mathématiques et les algorithmes 6. Construire des explications (pour la science) et élaborer des solutions (pour l'ingénierie) 7. Argumenter sur la base de preuves 8. Obtenir, évaluer et communiquer des informations

Tableau 4.3.3.a : Liste des pratiques scientifiques et ingéniorales (États-Unis)

On y retrouve dans les grandes lignes des objectifs proches de ceux des programmes français et suisses.

4.3.4. Au Royaume-Uni

Des nouveaux programmes sont mis en œuvre au Royaume-Uni à la rentrée 2014. Jusqu'à présent, un domaine intitulé « investigation scientifique » précisait ce que les élèves devaient savoir en termes de NoS et de compétences scientifiques (*investigation skills*). Prochainement, ce domaine sera remplacé par le domaine « *working scientifically* ». Les programmes visent ainsi à « développer les **connaissances scientifiques disciplinaires et la maîtrise des concepts**, spécifiquement par l'intermédiaire de la biologie, de la chimie et de la physique ; et développer la compréhension de **la nature, des processus et des méthodes de la science** à l'aide d'activités pratiques. »⁴⁷⁹

Scientific attitudes • pay attention to objectivity and concern for accuracy, precision, repeatability and reproducibility • understand that scientific methods and theories develop as earlier explanations are modified to take account of new evidence and ideas, together with the importance of publishing results and peer review • evaluate risks Experimental skills and investigations • ask questions and develop a line of enquiry based on observations of the real world, alongside prior knowledge and experience • make predictions using scientific knowledge and understanding • select, plan and carry out the most appropriate types of scientific enquiries to test predictions, including identifying independent, dependent and control variables

478. FAQ du site des *Next Generation Science Standards* : <http://www.nextgenscience.org/frequently-asked-questions>. (consulté août 2014)

479. <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study#year-6-programme-of-study> (consulté août 2014)

- use appropriate techniques, apparatus, and materials during fieldwork and laboratory work, paying attention to health and safety
- make and record observations and measurements using a range of methods for different investigations; and evaluate the reliability of methods and suggest possible improvements
- apply sampling techniques

Analysis and evaluation

- apply mathematical concepts and calculate results
- present observations and data using appropriate methods, including tables and graphs
- interpret observations and data, including identifying patterns and using observations, measurements and data to draw conclusions
- present reasoned explanations, including explaining data in relation to predictions and hypotheses
- evaluate data, showing awareness of potential sources of random and systematic error
- identify further questions arising from their results

Measurement

- understand and use SI units and IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) chemical nomenclature
- use and derive simple equations and carry out appropriate calculations
- undertake basic data analysis including simple statistical techniques

Tableau 4.3.4. : Liste des compétences visées en fin de 6^{ème} année d'étude dans le domaine Travailler scientifiquement (« working scientifically »)⁴⁸⁰

2.4.4. DEMARCHE D'INVESTIGATION VS. PEDAGOGIE FRONTALE

La pédagogie frontale est, dans les termes d'André Giordan, « une pédagogie où « celui qui sait » divulgue son savoir à « celui qui ne sait pas ». Sa concrétisation classique est le cours ex-cathedra ».⁴⁸¹ Elle peut s'avérer extrêmement efficace quand celui qui ne sait pas est préparé à s'approprier le savoir fourni par celui qui sait. C'est typiquement le cas lors d'une conférence qui rassemble des spécialistes d'un domaine donné, spécialistes qui partagent une même subjectivité collective. A l'école primaire, les élèves ne possèdent cependant pas encore *a priori* une culture scientifique commune sur laquelle un enseignant peut se baser. Selon André Giordan, un risque majeur est alors de fournir aux élèves des réponses incompréhensibles à des questions qu'ils ne se posent pas.⁴⁸²

En réaction à la pédagogie frontale⁴⁸³, l'idée s'impose dans les années 1970 d'une pédagogie constructiviste (ou socio-constructiviste) où c'est l'élève qui construit ses savoirs et non plus le maître qui les transmet. La démarche d'investigation en est issue, entre autres approches. Elle se construit alors souvent par opposition ou

480. *idem*.

481. Francine Pellaud, Richard-Emmanuel Eastes et André Giordan, « Des modèles pour comprendre l'apprendre : de l'empirisme au modèle allostérique », *Gymnasium Helveticum*, mai 2004. Accessible en ligne : <http://www.andregiordan.com/articles/apprendre/modeleallostérique.html> (consulté août 2014)

482. *idem*.

483. Cette pédagogie est jugée par certains comme peu efficace en raison de la passivité qu'elle génère chez les élèves : « Ce modèle qui maintient l'élève dans un rôle passif est reconnu par la psychologie cognitive pour sa faible efficacité vis-à-vis du processus d'apprentissage ». Guy Robardet et Jean-Claude Guillaud, *Éléments de didactiques des sciences physiques*, éd. PUF, Paris, 1997. (p. 82)

comparaison avec la démarche frontale, dominante et bien connue des enseignants.

C'est ainsi que Ronald D. Anderson, propose en 2002 pour identifier la mise en place d'une démarche d'investigation dans une classe d'évaluer l'écart entre la pratique observée et la façon d'enseigner traditionnelle :⁴⁸⁴

<i>Traditional—Reform Pedagogy Continuum</i>	
Predominance of Old Orientation	Predominance of New Orientation
Teacher Role:	
<u>As dispenser of knowledge</u>	<u>As coach and facilitator</u>
Transmits information	Helps students process info.
Communicates with individuals	Communicates with groups
Directs student actions	Coaches student actions
Explains conceptual relationships	Facilitates student thinking
Teachers knowledge is static	Models the learning process
Directed use of textbook, etc.	Flexible use of materials
Student Role:	
<u>As passive receiver</u>	<u>As self-directed learner</u>
Records teacher's information	Processes information
Memorizes information	Interprets, explains, hypoth.
Follows teacher directions	Designs own activities
Defers to teacher as authority	Shares authority for answers
Student Work:	
<u>Teacher-prescribed activities</u>	<u>Student-directed learning</u>
Completes worksheets	Directs own learning
All students complete same tasks	Tasks vary among students
Teacher directs tasks	Design and direct own tasks
Absence of items on right	Emphasizes reasoning, reading and writing for meaning, solving problems, building from existing cognitive structures, and explaining complex problems

Figure 2.4.4.a. : Distinction entre la démarche d'investigation (à gauche) et l'enseignement traditionnel (à droite)

Plus récemment, Wynne Harlen propose le même type de distinction⁴⁸⁵ (Figure 2.4.b.).

Ces deux présentations du partage des rôles entre enseignants et élèves montrent la grande différence qu'il existe, de ce point de vue, entre démarche d'investigation et pédagogie frontale.

La réalité des pratiques, on l'a vu, est moins contrastée, et elles s'inscrivent plutôt dans un continuum combinant des éléments des deux approches. La tentation peut toutefois être grande de basculer d'une approche frontale vers une approche exclusivement par démarche d'investigation. Selon Sophie Mathé, Martine Méheut et Cécile de Hosson⁴⁸⁶, l'introduction de la démarche d'investigation dans les

484. R. Anderson. « Reforming science teaching: What research says about inquiry ». *Journal of Science Teacher Education*, 2002, vol. 13 (1), pp. 1–12. (p. 5). Cette proposition date de 1996, année où les nouveaux standards américains sont présentés par le National Research Council.

485. Wynne Harlen. *Assessment & Inquiry-Based Science Education : Issue in Policy and Practice*. éd. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Program (SEP), Italie, 2012. (p. 15)

486. S. Mathé, M. Méheut & C. de Hosson. « La démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? »,

programmes du collège a ainsi conduit certains enseignants à les interpréter dans le sens d'un enseignement uniquement par D.I. et provoqué l'apparition sur les sites académiques de séquences en D.I. dont la pertinence est discutable.

Box 3: Student activities: learning through inquiry	Box 4: Student activities: learning through transmission methods
• Students pursue questions which they have identified as their own even if introduced by the teacher • They do not know the answer to the questions they investigate • They know enough about the topic to engage with the question • They make predictions based on their emerging ideas about the topic • They take part in planning investigations to test their predictions • They conduct investigations themselves • They use appropriate sources and methods of collecting data relevant to testing their predictions • They discuss what they find in relation to their initial expectations or predictions • They draw conclusions and try to explain what they find • They compare their findings and conclusions with what others have found and concluded • They keep notes and records during their work • They engage in discussion of the methods used and the results of their investigations	• Students' activities follow a sequence set out in a text-book or by the teacher with little attention to placing what they do in the context of a question they want to answer • They may read about how to conduct investigations but have little opportunity to experience the process for themselves. • They may observe demonstrations by the teachers but may not understand the reasons for what is being done • When they do undertake practice activities they follow instructions taking little part in deciding what to do • The experiments they observe or conduct are designed to confirm a conclusion already known: 'experiment to show that ...' • They do not always know why certain steps in an experiment or investigation have to be carried out • They write accounts of investigations in a structured form, often copied from a book or dictated by the teacher • They record the 'right answer' even if they did not observe what ought to have happened • They work independently or in pairs and are discouraged from discussing their work

Figure 2.4.4.b. : Distinction entre la démarche d'investigation (à gauche) et l'enseignement transmissif (à droite)

« Comme toujours, la panacée n'existe pas et il faut chercher l'optimum dans l'équilibre qu'il y a à « jouer » avec ces différents types d'approches »⁴⁸⁷ précise André Giordan. Ce point de vue est partagé par Wynne Harlen pour qui ces deux approches ont leur place dans l'enseignement des sciences, chacune permettant d'atteindre des objectifs différents.⁴⁸⁸ Quand il s'agit d'apprendre des procédures plutôt que de comprendre

Didaskalia, n°32, 2008, pp. 41–76.

487. André Giordan & Francine Pellaud, *Comment enseigner les sciences*, éd. Delagrave, Paris, 2008, p. 69.

488. « *Teaching as 'transmission of facts' was the predominant mode at the time when the main aim of science education was to provide future scientists with essential knowledge, rather than also being to provide everyone with the opportunities to achieve the goals listed above. Science was passed on to students 'ready-made', as opposed to being experienced, with knowledge being created through action. But this is not to claim that inquiry is the only form of pedagogy that students encounter in their science education. There are some things to be learned such as skills of using equipment, names, conventions and symbols which are best taught directly and there will be occasions where inquiry contributes to making sense of experience without being the sole approach used. However, when understanding is the aim, inquiry has a key role in students' science education.* » Wynne Harlen. *Assessment & Inquiry-Based Science Education : Issue in Policy and Practice*. op. cit., p. 14

un phénomène, la pédagogie frontale lui semble la plus adaptée alors que lorsqu'il s'agit de comprendre, c'est la démarche d'investigation qu'il faut privilégier.

Des limitations matérielles peuvent également conduire à choisir l'approche frontale plutôt que par démarche d'investigation comme le note André Giordan : « *la méthode expérimentale n'est pas toujours applicable en tant que telle ou du moins dans les conditions optimales voulant que de petits groupes d'enfants puissent bénéficier d'une « pailleasse » pour mettre en place eux-mêmes des dispositifs expérimentaux* ». ⁴⁸⁹

La complémentarité des approches frontale et par D.I. se justifie alors avant tout par la nécessité de trouver un optimum, de choisir la meilleure approche pour remplir des objectifs d'enseignement différents ou pour des raisons matérielles.

La mise en dialectique de ces deux approches peut également se révéler un outil puissant pour conduire les élèves à réfléchir au statut de l'autorité en science. En effet, alors que l'approche frontale pose l'enseignant comme autorité (ou représentant d'une autorité) détentrice d'un savoir à transmettre, la démarche d'investigation met en avant que le savoir est quelque chose de dynamique, construit par des êtres humains et susceptibles d'être remis en question. Voir l'enseignant naviguer entre ces deux approches fournit aux élèves l'occasion de se positionner eux-mêmes et de mieux saisir la façon dont les connaissances scientifiques s'élaborent, entre acceptation et remise en cause du savoir construit antérieurement. L'appropriation d'un rapport sain à l'autorité scientifique dépasse largement le cadre disciplinaire, et constitue une compétence fondamentale pour les citoyens d'une société largement informée par la science et les technosciences⁴⁹⁰.

2.4.5. UNE MISE EN PLACE DIFFICILE

« Efficacement menée, une approche par la démarche d'investigation offre la promesse de réaliser ces objectifs à un plus haut degré que les approches traditionnelles de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences. Qu'elle soit "efficacement menée" est ici une réserve critique. »

Wynne Harlen⁴⁹¹

« L'apprentissage par démarche d'investigation est complexe et n'est pas une option simple. Nous nous efforçons de la mettre en œuvre parce que nous croyons qu'elle promeut la compréhension et le développement de compétences dont les élèves auront besoin pour répondre aux demandes d'une vie dans le 21^e siècle ».

Wynne Harlen⁴⁹²

« Quand un enseignant n'a jamais enseigné de sciences ou quand il n'a jamais enseigné de cette façon, cela n'est pas toujours facile de construire une progression et de trouver des situations de départ tout au long de la progression qui permettent le questionnement et l'action des élèves. »

Edith Saltiel⁴⁹³

489. André Giordan & Francine Pellaud, *Comment enseigner les sciences*, op. cit., p. 72.

490. Estelle Blanquet, Éric Picholle & U. Bellagamba. « Démarche d'investigation, pédagogie frontale et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique ». Actes du colloque "Formes d'éducation et processus d'émancipation", CREAD, 22-24 mai 2012, Rennes.

491. Wynne Harlen. *Assessment & Inquiry-Based Science Education : Issue in Policy and Practice*. éd. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Program (SEP), Italie, 2012. (p. 14)

492. *idem*, p. 13

493. Edith Saltiel. *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?*, Publication en ligne, 21 octobre 2005. (p. 13) Edith Saltiel y renvoie sur des activités du projet POLLEN qui ne sont plus disponibles en

La démarche d'investigation n'est pas toujours facile à implémenter.

L'absence de définition univoque de la démarche d'investigation a un impact sur la formation des enseignants. On rencontre chez les enseignants des pratiques très différentes et des discours parfois mutuellement exclusifs, chacun étant persuadé de faire vivre à ses élèves d'authentiques démarches d'investigation, au contraire de ses collègues. La perception de la même pratique peut varier considérablement selon les écoles de formateurs et, en l'absence de critères consensuels d'évaluation, elle peut même être considérée comme inadéquate pour certains et adéquate pour d'autres.

Plus grave, l'absence de consensus sur la nature de la démarche d'investigation a des conséquences sur l'évaluation de son efficacité. En l'absence de délimitation claire de ce qui en relève ou non, il est toujours possible, en se fixant une définition *ad hoc*, de montrer qu'elle est ou n'est pas efficace pour enseigner les sciences à l'école, ce qui complique sérieusement son évaluation.

En France, après une montée en puissance de l'enseignement des sciences par démarche d'investigation en 2002, les programmes de l'école semblent actuellement marquer le pas. Il n'est plus aussi aisé pour un enseignant de se procurer des informations institutionnelles sur la démarche d'investigation.

Concrètement, il lui faut pour cela chercher sur le site de *La Main à la Pâte*, où la visibilité du guide n'est pas bonne, et franchir quatre étapes pour y accéder :⁴⁹⁴

Accueil>consulter nos ressources>[Afficher tout]>Sciences et Investigation.

Au delà de ces difficultés institutionnelles et techniques, il y peut y avoir des difficultés d'ordre méthodologique⁴⁹⁵.

Alors que le guide de *La Main à la Pâte* fournit par exemple des moyens d'engager les élèves dans une expérimentation ou une modélisation, il présuppose que l'enseignant comprend la façon dont on les mène. Or, l'apprentissage des bonnes pratiques peut s'avérer délicat non seulement pour les élèves⁴⁹⁶ mais aussi pour leurs enseignants.⁴⁹⁷ Ainsi, face à des réponses voire à des résultats expérimentaux inattendus, des enseignants peuvent ainsi être tentés d'imposer la bonne réponse en s'appuyant sur leur autorité quitte à contredire une observation d'élèves.⁴⁹⁸

Les bonnes pratiques relatives à leur mise en place restent en conséquence souvent

ligne. Accessible sur le site de la Fondation *La Main à la Pâte* : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe> (consulté août 2014)

494. <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe> (consulté août 2014)

495. Ronald D. Anderson. «Reforming Science Teaching: What Research says about Inquiry ». *Journal of Science Teacher Education*, 2002, vol. 13 (1), pp. 1-12.

496. Wynne Harlen alerte les évaluateurs sur la difficulté d'évaluer la compréhension de la méthodologie scientifique par exemple chez les élèves. Elle indique que des élèves capables de mettre en œuvre correctement des compétences méthodologiques dans le cadre d'une démarche d'investigation donnée n'y parviennent pas forcément sur une autre. Wynne Harlen. *Assessment & Inquiry-Based Science Education : Issue in Policy and Practice*. éd. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Program (SEP), Italie, 2012. (p. 60).

497. Pour rester dans le cadre français, on trouve sur le forum de *La Main à la pâte* de nombreuses questions d'enseignants révélatrices de difficultés à comprendre la méthodologie scientifique (e.g. « La boîte à neige : comment invalider une proposition qui fonctionne ? »).

498. Voir par exemple Aik-Ling Tan & Hwei-Ming Wong. « "Didn't Get Expected Answer, Rectify It." : Teaching science content in an elementary science classroom using hands-on activities ». *International Journal of Science Education*, 2012, vol. 34 (2), pp.197-222.

bien floues pour des enseignants sans bagage scientifique.⁴⁹⁹

Une solution proposée en France consiste à développer l'ASTEP⁵⁰⁰ (accompagnement scientifique et technique à l'école primaire) et, dans quelques régions privilégiées, des Maisons des sciences⁵⁰¹. Néanmoins, le manque de structures et de personnes compétentes demeurent un problème et les solutions actuelles ne sont pas généralisables.

499. Il n'y a pas sur le site de *La Main à la Pâte* de document fournissant des indications sur ce qu'est la démarche scientifique à notre connaissance. On trouve en revanche des éléments dispersés dans les différentes réponses des experts aux questions des enseignants.

500. Il s'agissait initialement de mettre des élèves aux contacts d'un physicien professionnel pédagogue, accompagner un enseignant en difficulté. L'initiative est étendue aujourd'hui aux jeunes étudiants de licence. On peut s'interroger sur l'efficacité de l'accompagnement d'un enseignant maîtrisant mal les tenants et les aboutissants de la démarche d'investigation par un jeune étudiant de licence, encore balbutiant dans sa compréhension de la méthodologie scientifique. <http://www.fondation-lamap.org/fr/astep>. (consulté août 2014)

501. Les maisons des sciences font le pari de la formation d'enseignants du premier degré par des physiciens professionnels, sans connaissance particulière des spécificités de l'école et des jeunes élèves (ou de la didactique des sciences). On aimerait que tous les physiciens soient comme Marie Curie capables de s'adapter à des élèves et à des enseignants dont la maîtrise de la science est balbutiante mais cela semble peu probable. <http://www.maisons-pour-la-science.org>. (consulté août 2014)

2.5. La question de la science à l'école maternelle

Un bébé, un enfant ou un adulte ne pensent pas de la même façon. Il ne va donc pas de soi qu'il est possible à des enfants de faire des sciences ; et il convient de s'interroger sur le sens que peut avoir le terme de *science* dans ce contexte. La question est d'autant plus sensible qu'on considère de plus jeunes enfants. Nous nous intéresserons dans cette section aux élèves de 2 à 6 ans, qui représentent l'essentiel des enfants scolarisés à l'école maternelle en France (toute petite, petite, moyenne et grande sections).

Une solution consiste à identifier les compétences accessibles pour une tranche d'âge donnée ; à se fixer des compétences minimales nécessaires pour l'enseignement des sciences ; et à déterminer ainsi l'âge à partir duquel il est possible de faire des sciences avec les petits. La découverte sans cesse renouvelée de nouvelles compétences chez les jeunes enfants tout comme la détermination des compétences nécessaires pour faire des sciences rendent cependant cette approche délicate (2.5.1.). Comme souvent, ce sont en définitive les programmes scolaires qui fixent pour les enseignants ce que doit être l'enseignement scientifique à l'école maternelle (2.5.2.).

2.5.1. DES COMPETENCES AUX CONTOURS FLOUS

Même les enfants les plus jeunes sont sensibles aux régularités abstraites et aux relations causales. Ils utilisent ces informations comme guide dans leur façon de généraliser, de faire des inférences et de donner du sens au monde qui les entoure. On ne cesse de réviser à la hausse la richesse et la variété de ce que peuvent comprendre les enfants et qui fait intervenir des éléments implicites et explicites, symboliques ou non, et des composantes associatives ou à explicatives. Il n'y a pas de progression simple du concret à l'abstrait dans le développement des enfants.

Richard Duschl⁵⁰²

5.1.1. Stades piagétiens et scientificité

Jean Piaget décompose l'évolution de la pensée chez les petits en périodes et en stades.⁵⁰³ Les élèves de maternelle se situent dans la période de « l'intelligence préopératoire ».

L'interprétation dominante de ses travaux, dans les années soixante-dix^{504, 505} était que les jeunes élèves acquièrent leurs compétences par étapes successives,

502. *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Richard A. Duschl, Heidi A. Schweingruber et Andrew W. Shouse, Editors. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, The National Academies Press, U.S.A., 2007. p. 54

503. Pour une présentation synthétique des stades piagétiens, voir par exemple Hélène Rucaud-Droisy, Claire Safont-Mottay et Nathalie Oubrayrie-Roussel, *Psychologie du développement, Enfance et adolescence*, éd. Dunod, 2008, pp. 57-66.

504. En France, selon Samuel Joshua et Jean-Jacques Dupin, de nombreux didacticiens se sont appuyés sur les travaux de Jean Piaget pour guider les recherches naissantes en didactique. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, op. cit., p. 97.

505. Selon Kathleen E. Metz, de nombreux didacticiens américains parmi lesquels Karplus (1977) et Lason (1979) se sont appuyés sur les travaux de Brunner, qui, lui même, s'appuyait sur ceux de Piaget, pour définir ce qui était accessible aux élèves. Voir son article « Reassessment of Developmental Constraints on Children's Science Instruction », op. cit., p. 93-94.

caractérisées par autant de seuils permettant d'identifier les compétences accessibles à un moment donné du développement psychologique et cognitif de l'enfant. En particulier, en dessous de 6 ans les élèves étaient présumés ne pas maîtriser un certain nombre de compétences relatives aux opérations formelles (e.g. émission d'hypothèses, raisonnement hypothético-déductif). En restreignant la science à l'élaboration de raisonnements sophistiqués et à la manipulation d'abstractions, une conséquence de cette approche était de considérer les tout-petits comme incapables de faire des sciences. Une option courante consistait alors à privilégier une approche concrète, réputée non scientifique, permettant aux élèves de manipuler et découvrir des objets, en conformité avec les compétences accessibles aux jeunes enfants, avant de les initier à des aspects plus généraux et scientifiques. C'est par exemple la logique des « leçons de choses »⁵⁰⁶.

Cette double vision d'élèves de maternelle aux compétences très limitées et d'un enseignement des sciences nécessitant une capacité d'abstraction importante a été remise en cause dans les années quatre-vingt dix, sans pour autant nécessairement remettre en cause l'existence de stades.⁵⁰⁷

Ainsi, un article de Kathleen Metz⁵⁰⁸ de 1995, s'appuyant sur des écrits méconnus de Jean Piaget et d'autres psychologues non piagétien, a participé à modifier la vision des compétences scientifiques des petits. Metz y rappelait en particulier que les expériences de Jean Piaget montraient que des enfants très jeunes étaient déjà capables de mener des investigations, de bâtir des « expériences pour voir » en faisant intentionnellement varier un paramètre⁵⁰⁹. Selon elle, de telles compétences rendent possible un enseignement des sciences à de jeunes élèves, pourvu qu'on se limite à une science concrète, reposant par exemple sur des objets manipulés avec une intention d'exploration systématique.

De même, en France, André Giordan met en garde les didacticiens contre une lecture trop restrictive de Piaget. Il rappelle en 1997 que « *les stades ne doivent cependant pas être considérés comme des carcans. Le passage entre les stades peut être facilité par l'éducation contrairement à ce que pensent de nombreux piagétien. Ainsi, il est possible à des enfants de cinq ans grâce à des situations pédagogiques adéquates de faire des hypothèses sans attendre le stade hypothético-déductif.* »⁵¹⁰

Les années quatre-vingt-dix voient donc un regain d'intérêt pour ce que peuvent faire de très jeunes élèves. Des approches nouvelles apparaissent pour cerner leurs compétences.^{511,512} Plutôt que de s'intéresser à ce que de jeunes élèves ne

506. Voir par exemple la synthèse réalisée par Ferdinand Buisson dans son *Nouveau dictionnaire de pédagogie et d'instruction publique*, éd. Hachette, Paris, 1911. Accessible en ligne : <http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson/> (consulté août 2014)

507. André Giordan et Marilyn Coquidé-Cantor réfèrent par exemple régulièrement aux stades piagétien dans leur ouvrage *L'Enseignement scientifique à l'école maternelle*, éd. Z'édicions, Nice, 1997.

508. Kathleen E. Metz. « Reassessment of Developmental Constraints on Children's Science Instruction », op. cit.

509. Jean Piaget, *La Naissance de l'intelligence chez l'enfant* (1936). éd. Delachaux & Niestlé, Suisse, 1977.

510. Marilyn Coquidé-Cantor et André Giordan, *L'Enseignement scientifique à l'école maternelle*, éd. Z'édicions, Nice, 1997, p. 152.

511. Russel Tytler et Suzanne Peterson proposent en 2002 en introduction à leur article un historique des discussions parfois vives qui ont animées les communautés des psychologues et didacticiens des sciences. « From "Try It and See" to Strategic Exploration : Characterizing Young Children's Scientific Reasoning ». *Journal of Research in Science Teaching*, 2004, vol. 41 (1), pp. 94-118.

peuvent *pas* faire, on s’y intéresse davantage à ce qu’ils *peuvent* faire.⁵¹³ Ce changement de point de vue induit de nombreuses surprises. Ainsi, selon Richard Duschl, les vingt dernières années de recherche dépeignent des jeunes élèves étonnamment plus compétents qu’on ne le pensait précédemment et capables de s’engager dans de multiples apprentissages de nature scientifique. Dans les années soixante-dix et quatre-vingts, la plupart des recherches portent sur les conceptions initiales des enfants de maternelle et montrent que les élèves élaborent très jeunes des explications relatives aux phénomènes qu’ils observent.⁵¹⁴ De nombreuses recherches s’intéressent aujourd’hui plutôt à leur façon de raisonner et aux conséquences sur leur capacité à réaliser des activités jugées essentielles pour faire des sciences comme la modélisation.

Cette évolution ne va pas sans soulever des polémiques.⁵¹⁵ Une source de désaccord repose non pas sur les compétences des élèves mais sur une inquiétude d’ordre épistémologique, l’interprétation de ce qu’ils font en termes d’activités scientifiques ou non. Des différences dans les critères de validation aboutissent alors parfois à des conclusions contradictoires.

La modélisation scientifique, considérée par de nombreux didacticiens comme un élément-clef de l’enseignement scientifique,⁵¹⁶ fournit un exemple typique des difficultés pour évaluer l’âge à partir duquel certains éléments de méthodologie scientifique peuvent être travaillés par les élèves et de la variété des hypothèses de travail. Ainsi, Catherine Ledrapier n’hésite pas à poser des définitions très englobantes de la modélisation⁵¹⁷ ou du débat scientifique⁵¹⁸ pour aboutir à la conclusion que les élèves en sont capables dès 3 ans⁵¹⁹. Inversement, Richard

512. Les recherches sur les élèves de maternelle se sont suffisamment développées pour que les deux dernières conférences ESERA en 2011 et 2013 proposent une section consacrée à l’enseignement des sciences chez les tout-petits. 2009 a également vu la création d’un groupe d’intérêt dédié aux élèves de 0 à 8 ans. <http://www.esera.org/esera-special-interest-groups/> (consulté août 2014)

513. Marcela Schweitzer a montré récemment que des élèves de maternelle, avec un enseignement adapté, étaient capables d’atteindre des compétences habituellement réservées à des élèves plus âgés (travail sur les ombres). Marcela Resta-Schweitzer, « Initiation scientifique et développement intellectuel du jeune enfant », Thèse de Doctorat, Université d’Angers, 2010.

514. R.A. Duschl et al., *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. op. cit., pp. 56–64.

515. Voir à ce propos Russel Tytler et Suzanne Peterson, « From “Try It and See” to Strategic Exploration : Characterizing Young Children’s Scientific Reasoning », op. cit., pp. 95–97.

516. Jean-Louis Martinand, en France, a été l’un des premiers à réfléchir sur les difficultés que recouvrent la notion de modèle pour les élèves. L’appropriation du concept de modélisation demeure une préoccupation majeure de la didactique des sciences. Voir par exemple P. S. Oh & S. J. Oh, « What Teachers of Science Need to Know about Models : An Overview ». *International Journal of Science Education*, 2011, vol. 33 (8), pp. 1109–1130.

517. « Pour être dans une activité de modélisation en soi, il faudra que trois caractères de la modélisation soient présents, id est : une visée explicative, même très rudimentaire, une visée prédictive, et une remise en cause d’une explication précédemment élaborée (soit verbalisée, soit avec manifestation d’un indice signifiant un changement de modèle interprétatif) ». *idem*, p. 180.

518. « Même si ce terme peut paraître un peu prétentieux à première vue, relativement à l’âge des enfants, nous le maintiendrons, car nous prenons en compte le changement de nature de l’argument : il s’agit bien d’abandonner une connaissance d’opinion, une connaissance mal questionnée, assertorique, c’est-à-dire réduite à un simple constat, pour une connaissance “fondée en raison”, en référence à un vécu collectif... et c’est la définition que Michel Fabre et Christian Orange donne de “faire des sciences” ». Catherine Ledrapier. « Le Rôle de l’action dans l’éducation scientifique à l’école maternelle ; cas de l’approche des phénomènes physiques ». Thèse d’état, Ecole normale supérieure de Cachan, 2007, p. 308.

519. « « Les balles veulent aller tout droit », résumera un grand avec emphase, proposition sentencieuse mais très appropriée. « Les balles y veulent aller tout droit, y veulent pas tourner », diront deux moyens en guise d’explication au fait de faire la manipulation en deux temps. [...] La première est proclamée, elle est de

Duschl s'appuie sur la définition plus restrictive proposée par Lehrer et Schauble⁵²⁰ pour considérer que les jeunes enfants ne sont pas capables de s'engager dans tous les aspects-clef de la modélisation, en particulier parce qu'ils ne pensent généralement pas consciemment la séparation entre le modèle et le monde modélisé.⁵²¹

Pour Tytler qui s'intéresse plus particulièrement aux compétences des élèves de maternelle en termes de raisonnement scientifique, une grande part des difficultés résultent d'un « *manque de clarté pour déterminer les dimensions qui caractérisent un raisonnement scientifique sur des tâches complexes* », dimensions auxquelles devraient s'ajouter « *les critères à partir desquels juger le niveau de raisonnement scientifique chez l'enfant* ». ⁵²²

Une autre difficulté provient de la présence ou non d'un contexte familial à l'enfant, que certains chercheurs tiennent pour essentiel⁵²³, les jeunes enfants s'avérant plus performants dans un contexte connu.

5.1.2. Des compétences reconnues

Dans l'ouvrage de référence publié en 2007 *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*, les experts rassemblés autour de Richard Duschl, après une revue de littérature exhaustive, mettent néanmoins en évidence un certain nombre de compétences que, selon eux, la communauté des didacticiens et celle des psychologues s'accordent désormais à reconnaître aux élèves de 2 à 5 ans : ⁵²⁴

- les enfants sont sensibles à des régularités abstraites et utilisent leur sensibilité pour guider leur réflexion sur le comportement des objets, etc.
- les enfants ont un fort sens du principe de causalité, ils s'attendent à ce que la cause précède l'effet et associent certaines causes à certains effets
- les enfants sont capables de catégoriser, de raisonner de façon inductive, déductive et bayésienne, d'isoler des éléments
- les enfants sont sensibles aux configurations présentant des covariances ou des corrélations, à la contingence
- les enfants sont capables d'évaluer des règles posées en si-alors ou quantifiées de façon simple
- les enfants sont capables de distinguer des indices déterminants ou non, d'identifier certains biais de raisonnement et d'avoir recours à des procédures heuristiques pour résoudre des problèmes

l'ordre de "l'énoncé d'une loi", la seconde est une réponse à une demande d'explication. Dans les deux cas il y a un système explicatif invoqué, nous sommes donc également en partie dans une activité de modélisation, les activités ne sont donc pas catégorisables avec des catégories qui seraient exclusives. Cette activité-là, du fait de la découverte du nouveau phénomène "elles ne veulent pas tourner", est également une activité d'heuristique phénoménale ». idem, p. 231.

520. « La modélisation mature inclut la séparation consciente du modèle de son référent, la considération explicite d'erreurs de mesures et la compréhension que d'autres modèles sont possibles et peuvent, en fait, être préférables. ». R. Lehrer & L. Schauble. « Inventing data structures for representational purposes : elementary grade students' classification models », *Mathematical Thinking and Learning*, 2000, vol. 2, pp. 51–74.

521. *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. op. cit., p. 76.

522. Russel Tytler & Suzanne Peterson. « From "Try It and See" to Strategic Exploration : Characterizing Young Children's Scientific Reasoning ». op. cit. pp. 96–97.

523. S. Carey. *Conceptual Change in Childhood*. éd. MIT Press, Cambridge, 1985. (cité par R. Tytler & S. Peterson)

524. *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. op. cit. pp. 74–83.

- les enfants sont aptes à utiliser une grande variété de repères dans leur environnement pour identifier la cause d'un événement à partir d'un jeu de causes potentielles
- les enfants sont capables de tirer des conclusions sur les causes d'un événement en regardant les régularités d'événements covariants
- les enfants sont capables de considérer une chose comme en représentant une autre

Ils y indiquent également un certain nombre de difficultés identifiées :

- les enfants ont d'énormes difficultés à parler explicitement de régularités abstraites
- les enfants n'ont habituellement pas conscience de la séparation entre un modèle et le monde modélisé
- les enfants ont tendance à préférer une copie conforme d'un objet à sa représentation simplifiée, parce qu'ils ont tendance à ne pas vouloir éliminer des informations
- les enfants ne considèrent pas spontanément la précision ou l'erreur d'une représentation et les conséquences de ces déviations entre le modèle et le monde modélisé en lien avec les objectifs visés
- les enfants ont des difficultés à accepter l'idée qu'il existe de nombreuses représentations alternatives
- les enfants ne cherchent pas spontanément à évaluer des modèles alternatifs ou des hypothèses alternatives

Ils mettent par ailleurs en avant l'idée que les compétences des enfants sont fortement sensibles au contexte : les formes de raisonnement qu'ils peuvent mobiliser sont liées aux domaines de connaissance sur lesquelles elles sont testées, les résultats étant meilleurs quand les enfants sont placés dans une situation qui fait sens pour eux.

La conclusion de leur revue de littérature exhaustive est claire et sans ambiguïté : les capacités des enfants de niveau *preschool* (3-5 ans aux États-Unis) à raisonner et à comprendre impliquent qu'ils peuvent s'engager dans et profiter d'une instruction qui incorpore des pratiques scientifiques relativement complexes et ce dès l'entrée dans le milieu scolaire (*Kindergarten* à 5 ans ou K1 à 6 ans aux États-Unis).⁵²⁵

2.5.2. "DECOUVRIR LE MONDE"

5.2.1. Aux États-Unis

Dans de très nombreux pays, comme les États-Unis, le Royaume-Uni ou l'Allemagne, il n'existe pas d'écoles maternelle et en conséquence pas à proprement parler d'enseignement ou programme scolaire. Néanmoins, les enfants américains dont les parents peuvent payer une pré-scolarisation sont accueillis dans des *preschool* puis dans des *kindergarten*⁵²⁶.

Les structures accueillant les enfants se doivent cependant de respecter un certain nombre de standards définis le plus souvent au niveau local. Ces

525. *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. op. cit., p. 83.

526. D'un pays à l'autre, l'âge d'entrée dans le système éducatif varie. Ainsi, aux États-Unis il existe un statut particulier pour les *Kindergarten* qui accueillent les élèves de 5-6 ans et, au Royaume-Uni, la scolarité commence à 5 ans.

standards visent à favoriser le développement psychologique, cognitif et moteur de l'enfant et, parfois, à le préparer à la scolarité obligatoire.

Ainsi, aux États-Unis, même si le *National Research Council* ne propose pas de standards au niveau fédéral, de nombreux États se dotent actuellement de standards nommés « *early learning and development standards* » pour les niveaux *preschool* (3-5 ans) et *kindergarten* (5-6 ans)⁵²⁷ traitant explicitement le domaine des mathématiques et des sciences. Les standards de l'État de l'Ohio pour le domaine relatif aux sciences indiquent par exemple que les enfants de 3 à 5 ans :

« explorent les objets, les matériaux et les événements de leur environnement, font des observations précises, posent des questions sur leur environnement, s'engagent dans des investigations simples, décrivent, comparent, trient, classent et ordonnent, enregistrent leurs observations en utilisant des mots, des images, des tableaux, des graphiques, utilisent des outils simples pour élargir leur investigation, identifient des régularités et des relations, font des prédictions, des inférences, des généralisations et élaborent des explications basées sur des évidences, partagent leurs trouvailles, leurs idées et leurs explications (correcte ou non) via différentes méthodes (e.g. des images, des mots, une théâtralisation). »⁵²⁸

5.2.2. En Suisse

L'esprit du PER, plan d'études romand que l'on trouve dans les cantons suisses-romands, est aussi voisin. Dans le canton de Genève, l'école est par exemple obligatoire dès 4 ans avec l'entrée des élèves au cycle 1. Dans le PER pour les deux premières années du cycle 1 de l'enseignement obligatoire qui correspondent à la moyenne (4-5 ans) et à la grande section (5-6 ans) de l'école maternelle française, des objectifs sont explicitement formulés en termes d'enseignement scientifique dans la section mathématiques et sciences de la nature :

« Chez les élèves les plus jeunes, l'éducation scientifique revêt un rôle prépondérant. Il s'agit de leur permettre de rompre avec une vision égocentrique (anthropomorphique) et animiste du monde pour les faire entrer dans une relation *scientifique* avec les phénomènes naturels ou techniques et avec le monde vivant. Cette relation scientifique est faite d'attitudes (curiosité, ouverture d'esprit, remise en question de son idée, exploitation positive de ses erreurs,...) et de capacités (faire des hypothèses, observer, expérimenter, constater, rapporter,...). Il s'agit d'accepter les verdicts des faits. Dans cette relation scientifique, les connaissances acquises ne sont jamais définitives : déclinées à un certain niveau de complexité, elles sont momentanément utiles à l'élève, mais elles devront nécessairement être approfondies, révisées, voire abandonnées dans la suite de sa scolarité. »⁵²⁹

On y retrouve dans la section consacrée à l'initiation scientifique des formulations d'objectifs proches de celles des standards de l'Ohio :

« formulation de questions et d'hypothèses au sujet d'une problématique (oralement ou par écrit : dessins ou schémas intuitifs, légendes,...), proposition de pistes de recherche ; élaboration et/ou mise en œuvre d'un dispositif d'expérimentation, d'exploration ou d'observation ; découverte et comparaison de longueurs, de durées, de capacités,... à l'aide d'unités de mesure non standardisées (bandelettes, gobelets,...) ; relevé des observations ou des mesures effectuées (dessin, légende, description dictée à l'adulte,...) ; organisation et tri des

527. C'est par exemple le cas des États de l'Ohio, de l'Illinois, de Rhode Island, du Tennessee, de Pennsylvanie et de Louisiane.

528. <http://education.ohio.gov/Topics/Early-Learning/Early-Learning-Content-Standards> (consulté août 2014)

529. <http://www.plandetudes.ch/web/guest/msn/cg/> (consulté août 2014)

éléments récoltés et des observations à l'aide d'un outil de représentation proposé (*frise chronologique, tableau de classement, représentations de longueurs,...*) ; proposition d'une explication à partir des résultats d'une observation, d'une expérience ; sensibilisation à la distinction entre ce qui relève des résultats, des constats, et ce qui relève de l'interprétation qu'on en fait et qui peut être remise en question (*constat : une règle flotte ; interprétation : elle flotte parce qu'elle est en bois ou en plastique*) ; dans un compte-rendu oral, présentation d'une phase de la recherche (*question de recherche, hypothèse, expérimentation, observation, résultats, interprétations,...*) à l'aide de différents supports (*image, dessin, photo,...*). »⁵³⁰

À cette section s'en ajoutent d'autres portant sur des contenus plus disciplinaires (matière, vivant, forces et énergie etc.). Qu'il s'agisse des standards de l'Ohio ou des programmes suisses, on retrouve des objectifs qui consistent non seulement à « *observer, mesurer, comparer, ordonner, catégoriser* », objectifs présents depuis très longtemps dans les programmes,⁵³¹ mais également à expérimenter, élaborer des explications et les confronter aux résultats trouvés, communiquer, éléments que l'on retrouve dans la démarche d'investigation. Les élèves y sont donc considérés comme initiés à la science, capables de vivre des démarches d'investigation et de développer des compétences relatives à la démarche scientifique.

5.2.3. En France

Les programmes français actuellement en vigueur pour l'école maternelle datent de 2008 et ne font pas mention de la science ; le terme n'y est pas utilisé. Comme dans les programmes précédents de 2002 et 1995, il s'agit pour les élèves de "découvrir le monde". Cette approche qui ne mentionne pas l'enseignement des sciences est cohérente avec le présupposé selon lequel ils n'ont pas les compétences nécessaires pour faire des sciences (cf. section précédente). Ces programmes ne font pas plus mention à des expériences.

Les objectifs visés sont décrits de façon très succincte et générale :

« À l'école maternelle, l'enfant découvre le monde proche ; il apprend à prendre et à utiliser des repères spatiaux et temporels. Il observe, il pose des questions et progresse dans la formulation de ses interrogations vers plus de rationalité. Il apprend à adopter un autre point de vue que le sien propre et sa confrontation avec la pensée logique lui donne le goût du raisonnement. Il devient capable de compter, de classer, d'ordonner et de décrire, grâce au langage et à des formes variées de représentation (dessins, schémas). Il commence à comprendre ce qui distingue le vivant du non-vivant (matière, objets). »⁵³²

A cette description très générale succèdent des précisions relatives au contenu spécifique à certains domaines comme celui des objets,⁵³³ de la matière⁵³⁴ et du

530. http://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_16/ (consulté août 2014)

531. Ces objectifs sont « classiques » et se retrouvent dans la plupart des standards ou programmes dédiés aux élèves de 3 à 6 ans. Voir par exemple l'analyse de Kathleen E. Metz. « Reassessment of Developmental Constraints on Children's Science Instruction », op. cit.

532. http://www.education.gouv.fr/bo/2008/hs3/programme_maternelle.htm (consulté août 2014).

533. Les enfants découvrent les objets techniques usuels (lampe de poche, téléphone, ordinateur...) et comprennent leur usage et leur fonctionnement : à quoi ils servent, comment on les utilise. Ils prennent conscience du caractère dangereux de certains objets. Ils fabriquent des objets en utilisant des matériaux divers, choisissent des outils et des techniques adaptés au projet (couper, coller, plier, assembler, clouer, monter et démonter ...).

534. C'est en coupant, en modelant, en assemblant, en agissant sur les matériaux usuels comme le bois, la terre, le papier, le carton, l'eau, etc., que les enfants repèrent leurs caractéristiques simples. Ils

vivant⁵³⁵. Les indications données ne fournissent pas d'éléments sur l'approche pédagogique à suivre pour atteindre ces objectifs. La démarche d'investigation n'est pas mentionnée, pas plus que d'autres démarches.

Les formulations proposées laissent cependant le champ libre à des interprétations ambitieuses. Même en l'absence d'objectifs visant à développer une démarche scientifique, l'enseignant qui le souhaite reste libre de faire vivre à ses élèves des démarches d'investigation, de confronter leurs affirmations à des expériences etc. Ces formulations peuvent également induire le comportement contraire : en l'absence de contraintes précises, rien n'empêche l'enseignant de se contenter d'un travail minimal avec les enfants. Les compétences visées en fin d'école maternelle restent en effet modestes :

- reconnaître, nommer, décrire, comparer, ranger et classer des matières, des objets selon leurs qualités et leurs usages ;
- connaître des manifestations de la vie animale et végétale, les relier à de grandes fonctions : croissance, nutrition, locomotion, reproduction ;
- nommer les principales parties du corps humain et leur fonction, distinguer les cinq sens et leur fonction ;
- connaître et appliquer quelques règles d'hygiène du corps, des locaux, de l'alimentation
- repérer un danger et le prendre en compte ;
- utiliser des repères dans la journée, la semaine et l'année ;
- situer des événements les uns par rapport aux autres ;
- se situer dans l'espace et situer les objets par rapport à soi ;
- comprendre et utiliser à bon escient le vocabulaire du repérage et des relations dans le temps et dans l'espace.⁵³⁶

Ces programmes 2008 sont en retrait par rapport aux précédents, datant de 2002. Dans la section déjà intitulée "découvrir le monde", il était alors question dans les objectifs, d'investigations « issues d'un questionnaire provenant de l'activité même des élèves ». ⁵³⁷ Ces programmes étaient également accompagnés de documents interrogeant sans fournir de réponse explicite la possibilité de faire des sciences et de la technologie à l'école maternelle (p. 9). Les documents d'accompagnement proposaient des « évolutions souhaitables dans les raisonnements, la manière de les formuler et la manière de les représenter. », tout en précisant que « ces évolutions ne sont pas toujours abouties à l'école élémentaire ; ce sont donc des objectifs à long terme mais il importe que les enseignants d'école maternelle se représentent clairement les évolutions pour mettre les élèves sur la bonne voie. En même temps, il faut qu'ils sachent tirer profit des situations les plus concrètes dans lesquelles ces évolutions sont possibles. » ⁵³⁸ (Tableau 5.2.2.)

prennent aussi conscience de réalités moins visibles comme l'existence de l'air et commencent à percevoir les changements d'état de l'eau.

535. Les enfants observent les différentes manifestations de la vie. Élevages et plantations constituent un moyen privilégié de découvrir le cycle que constituent la naissance, la croissance, la reproduction, le vieillissement, la mort. Ils découvrent les parties du corps et les cinq sens : leurs caractéristiques et leurs fonctions. Ils sont intéressés à l'hygiène et à la santé, notamment à la nutrition. Ils apprennent les règles élémentaires de l'hygiène du corps. Ils sont sensibilisés aux problèmes de l'environnement et apprennent à respecter la vie.

536. http://www.education.gouv.fr/bo/2008/hs3/programme_maternelle.htm (consulté août 2014).

537. <http://www.education.gouv.fr/bo/2002/hs1/default.htm> (consulté août 2014).

538. Ministère de l'Éducation nationale. Découvrir le monde à l'école maternelle. Le vivant, la matière, les objets. éd. CNDP, 2005. p. 9, 13 & 14. Accessible en ligne : <http://www2.cndp.fr/produits/detailSimp.asp?ref=755A1217> (consulté août 2014)

Tendances spontanées	Évolutions souhaitées
Raisonnements enfantins (« Le chat a des griffes pour attraper des souris »).	Raisonnements de cause à effet plus ou moins élaborés : – « Le chat peut attraper des souris parce qu'il a des griffes » ; – « Le chat peut attraper des souris parce qu'il a des griffes, parce qu'il peut bondir », etc.
Intérêt porté aux événements – Liés au vécu ; – souvent subjectifs ; – situés dans l'espace et dans le temps ; – liés au hasard ou aux circonstances.	Intérêt porté aux faits scientifiques – Indépendants du vécu ; – objectifs ; – indépendants du lieu et du moment ; – dépendants de conditions expérimentales ; – reproductibles.
Langage « événementiel » – Pas de connecteurs logiques ou connecteurs inappropriés (« et », « pour que »...) ; – description des circonstances (« ce matin », « dans la cour ») ; verbes souvent au passé (« j'ai glissé ») ; – utilisation fréquente de la première personne : le sujet de la phrase est l'enfant lui-même (« je peux attirer le trombone »).	Langage scientifique – Présence de connecteurs logiques (« parce que... ») ; – marques explicites de la généralité (« toujours, chaque fois que »), de la condition (« si... ») ; – verbes au présent (« la glace est glissante ») ; – utilisation de la troisième personne ; le sujet de la phrase est l'objet d'étude (« l'aimant attire le trombone »).
Représentations « événementielles » – Représentation des personnages, des décors, des détails, des couleurs... pas de sélection entre ce qui est significatif et ce qui ne l'est pas ; – un seul dessin pour représenter l'événement.	Représentations scientifiques – Représentation épurée ; seul l'objet d'étude est représenté ; sélection des aspects à représenter, abstraction des détails inutiles... ; – le nombre des dessins dépend de ce qui est scientifiquement significatif.

Tableau 2.5.2. : objectifs de travail proposés aux enseignants dans les documents d'accompagnement 2002

Les documents d'accompagnement des programmes 2002 fournissaient par ailleurs des propositions de canevas de séquence d'investigation aux enseignants⁵³⁹ s'inspirant de celles proposées au cycle 3, à visée clairement scientifique. De nouveaux programmes pour l'école maternelle devraient être proposés en 2014 ou 2015, suite à la loi d'orientation et de programmation pour la refondation de l'école.⁵⁴⁰ La question de l'intégration ou non dans ces programmes d'une initiation des jeunes élèves de maternelle à la démarche scientifique reste ouverte.

D'une façon assez générale, on constate la grande prudence des différents programmes quant à la nature de la science pouvant être pratiquée avec les petits (ou non). Il reste encore de nombreuses pistes à explorer et les recherches se développent rapidement, en particulier sur l'utilisation de la démarche d'investigation à l'école maternelle.^{541, 542} De nouvelles études sont en particulier nécessaires pour identifier l'impact de démarches d'investigation intégrant des éléments de la démarche scientifique sur les élèves de maternelle.

539. *idem*, pp. 20–21.

540. Loi n° 2013-595 du 8 juillet 2013 d'orientation et de programmation pour la refondation de l'école de la République.

541. Voir par exemple Ala Samarapungavan, Panayota Mantzicopoulos, Henlen Patrick, « Learning Science Through Inquiry in Kindergarten », *Science Education*, 2008, vol. 92 (5), pp. 868–908.

542. En France, l'ouvrage de Marilyn Coquidé-Cantor et André Giordan, *L'Enseignement scientifique à l'école maternelle* (1997), est resté pendant très longtemps l'une des seules références disponibles pour les enseignants. Avant l'apparition de la démarche d'investigation dans les programmes scolaires, il proposait déjà une approche similaire à destination des élèves de l'école maternelle et partait du principe que comme les plus grands, les petits, avec le soutien de l'enseignant, ont les compétences requises pour mener des investigations. *op. cit.* p. 113.

Addendum 2.a.

	Auteurs	Titre et référence	Nb. ens. FI/FC	Nature de la formation	Evaluation	Durée de la formation, nature du cours
1	Valarie L. Akerson, Fouad Abd-El- Khalick, Norman G. Lederman	Influence of a Reflective Explicit Activity- Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science », <i>Journal Of Research In Science Teaching</i> , 2000, vol. 37(4), pp. 295–317	50, FI	Formation réflexive-explicite. Mise en œuvre de démarches d'investigation, présentation du NoS, mise en place d'activités mettant en évidence des caractéristiques du NoS mais non basées sur des contenus scientifiques, lecture d'articles, rédaction d'un rapport par les enseignants montrant leur compréhension du NoS	VNOS-B	durée totale non précisée, 3h par semaine sur un semestre, cours sur la méthodologie scientifique
2	Fouad Abd-El- Khalick, Valarie L. Akerson	Learning as Conceptual Change : Factors Mediating the Development of Preservice Elementary Teachers' Views of Nature of Science, <i>Science Teacher Education</i> , 2004, vol. 88(5), pp. 785-810	28, FI	Formation au changement conceptuel (e.g. discussion entre participants de leurs conceptions du NoS, études de cas)	VNOS-B	Non précisée, cours sur la méthodologie scientifique (elementary science methods, typ. 48 h)
3	Valarie L. Akerson, Judith A. Morrison, A. Roth McDuffie	One course is not enough: Preservice elementary teachers' retention of improved views of nature of science. <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 2006, vol. 43(2), pp. 194–213	19, FI	Mise en œuvre de démarches d'investigation et activités réflexives- explicites	VNOS-B Diagram- mes de Perry	durée totale non précisée, 3h par semaine sur un semestre, cours sur la méthodologie scientifique
4	Valarie L. Akerson, Deborah L. Hanuscin	Teaching Nature of Science through Inquiry : Results of a 3-Year Professional Development Program, <i>Journal Of Research In Science Teaching</i> , 2007, vol. 44(5), pp. 653- 680	3, FC	Mise en œuvre de démarches d'investigation et activités réflexives- explicites	VNOS-B	84 h d'ateliers mensuels et 42 h de suivi individuel dans les classes, prog. de 3 ans
5	Valarie L. Akerson, Cary A. Buzzelli, Lisa A. Donnelly	Early childhood teachers' views of nature of science : The influence of intellectual levels, cultural values, and explicit reflective teaching. <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 2008, vol. 45 (6), pp. 748–770	14, FI	Mise en œuvre de démarches d'investigation, d'activités réflexives- explicites, utilisation d'activités métacognitives	VNOS-B	3h par semaine sur un semestre, cours « Early Childhood Education Teacher Education Program »
6	Valarie L. Akerson, Theresa A. Cullen, Deborah L. Hanson	Fostering a Community of Practice through a Professional Development Program to Improve Elementary Teachers' Views of Nature of Science and Teaching Practice, <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 2009, vol. 46 (10), pp. 1090-1113	15, FC	Suivi régulier par un chercheur spécialiste du NoS	VNOS-D2	durée totale non précisée, 2 semaines de formation complète, 8 ateliers mensuels et suivi dans les classes, prog. de un an
7	Fouad Abd-El-	The Influence of Metacognitive Training on	49, FI	Formation à la metacognition (e.g. carte	VNOS-C	48 h, cours sur la méthodologie

	Khalick, Valarie L. Akerson	Preservice Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science, <i>International Journal of Science Education</i> , 2009, vol. 31(16), pp. 2161-2184		conceptuelle, discussion entre participants, études de cas)		scientifique
8	Valarie L. Akerson, J. Scott Townsend, Lisa A. Donnelly, Deborah L. Hanson, Praweena Tira, Orvil White	Scientific Modeling for Inquiring Teachers Network (SMIT'N): The Influence on Elementary Teachers' Views of Nature of Science, Inquiry, and Modeling, <i>Journal of Science Teacher Education</i> , 2009, vol. 20, pp. 21-40	4, FC	Mise en place de démarches d'investigation portant sur la biologie, présentation magistrale du NoS et de ce qu'est la modélisation.	VNOS-D2 VOSI-E	2 semaines de formation complète
9	Valarie L. Akerson, Theresa A. Cullen, Deborah L. Hanson	Experienced Teachers' Strategies for Assessing Nature of Science Conceptions in the Elementary Classroom, <i>J Sci Teacher Educ</i> , 2010, vol. 21, pp. 723-745	10, FC	Cours avec mise en œuvre de démarches d'investigation, construction d'une recherche-action sur l'évaluation du NoS des élèves	VNOS-D2	durée totale non précisée, 2 semaines de formation complète, ateliers mensuels et suivi dans les classes, prog. de 2 ans.
10	Valarie L. Akerson, Lisa A. Donnelly, Morgan L. Riggs & Jennifer L. Eastwood	Developing a Community of Practice to Support Preservice Elementary Teachers' Nature of Science Instruction, <i>International Journal of Science Education</i> , 2012, vol. 34(9), pp. 1371-1392	5, FI	Suivi régulier par un chercheur spécialiste du NoS suite à des cours sur la méthodologie scientifique	VNOS-B	8 rencontres, 2 fois par mois pendant les 4 mois de stage des enseignants
11	Randy L. Bell, Juanita Jo Matkins, Bruce M. Gansneder	Impacts of Contextual and Explicit Instruction on Preservice Elementary Teachers' Understandings of the Nature of Science, <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 2011, vol. 48 (4), pp. 414-436	75, FI	Comparaison de 4 approches : formation NoS explicite / implicite avec / sans utilisation d'un support « socialement vif » (changements climatiques)	VNOS-B adapté	durée totale non précisée, cours sur la méthodologie scientifique
12	Tracy J. Posnanski	Developing Understanding of the Nature of Science Within a Professional Development Program for Inservice Elementary Teachers: Project Nature of Elementary Science Teaching, <i>Journal of Science Teacher Education</i> , 2010, vol. 21, pp. 589-621	22, FC	Mise en œuvre de démarches d'investigation et activités réflexives-explicites	VNOS-C	130 h de formation, Deux semaines complètes en été (35h x 2 = 70h) et 5 cours de 3h par semestre (15h x 4 = 60h)
13	Clíona Murphy, Paula Kilfeather et Colette Murphy	An exploration of issues surrounding teaching the nature of science to preservice primary school teachers, <i>Irish Educational Studies</i> , 2007, vol. 26(1), pp. 27-38	148, FI	Mise en œuvre de démarches d'investigation et comparaison entre des cours qui intègrent et explicitent le NoS et les mêmes cours sans explicitation	Question : C'est quoi la science ?	48h, 2h par semaine, cours sur les méthodes d'enseignement des sciences et apports scientifiques
14	Karen Murcia, Renato Schibeci	Primary student teachers' conceptions of the nature of science, <i>International Journal of Science Education</i> , 1999, vol. 21(11), pp. 1123-1140	73, FI	Sondage, pas de formation	Questionnaire	

Addendum 2.b.

Définitions de la démarche d'investigation dans les programmes européens.

Programme S-TEAM¹

Ce programme du "*seventh framework programme*" est coordonné par l'université d'Oslo en Norvège et intègre 14 pays : Royaume-Uni, Turquie, Suède, Espagne, Norvège, Lituanie, Israël, Allemagne, France, Finlande, Estonie, Danemark, République Tchèque, Chypre.

A project involving countries from all over Europe faces the challenge of developing a common terminology and a common understanding of its basic ideas. Although the roots of IBST (inquiry-based science teaching) as the main approach to improving science teaching and learning in S-TEAM lead back to the early 20th century (Minner, Levy & Century, 2009), the seminars showed that no common definition currently exists at a European level. In many of the participating countries appropriate translations of the term in the national language were not found. In S-TEAM the following definition of IBST given by Linn, Davis and Bell (2004) was chosen as a common basis for discussion: "[Inquiry is] the intentional process of diagnosing problems, critiquing experiments, and distinguishing alternatives, planning investigations, researching conjectures, searching for information, constructing models, debating with peers and forming coherent arguments." The S-TEAM proposal described inquiry-based science teaching as being characterised by activities that engage students in: * authentic and problem based learning activities where there may not be a correct answer * a certain amount of experimental procedures, experiments and "hands on" activities, including searching for information * self regulated learning sequences where student autonomy is emphasised * discursive argumentation and communication with peers ("talking science")

Définition de la D.I. dans le programme S-TEAM

Programme pri-sci-net²

Ce programme du "*seventh framework programme*" est coordonné par le Conseil pour la science et la technologie de Malte et intègre 12 pays : Royaume-Uni, Finlande, France, Chypre, Portugal, Slovaquie, République Tchèque, Turquie, Belgique, Allemagne, Crète, Malte.

Inquiry-based science at primary level is a teaching and learning framework with implications about learning science, learning to do science, and learning about science.

In this framework:

Children

- engage actively in the learning process with emphasis on observations and experiences as sources of evidence;
- tackle authentic and problem based learning activities where the correctness of an answer is evaluated only with respect to the available evidence and getting to a correct answer may not be the main priority;
- practice and develop the skills of systematic observation, questioning, planning and recording to obtain evidence;
- participate in collaborative group work, interact in a social context, construct discursive argumentation and communicate with others as the main process of learning;
- develop autonomy and self-regulation through experience

The teacher scaffolds and guides learning by providing a role model of an inquiring learner. The teacher does not function, in the eyes of the children, as the sole bearer of expert knowledge. Instead, the main role of the teacher is to facilitate negotiation of ideas and to highlight criteria for formulating classroom knowledge.

Assessment is mainly formative, providing feedback to the teaching and learning process for all classroom participants.

Définition de la D.I. dans le programme pri-sci-net

1. Accessible sur le site S-TEAM : <http://www.s-teamproject.eu> (consulté août 2014)

2. Accessible sur le site pri-sci-net : <http://www.prisci.net/ibse-vision> (consulté août 2014)

Programme PRIMAS³ (Promoting Inquiry in Mathematics And Science Education Across Europe)

Ce programme du "seventh framework programme" est coordonné par l'université de Fribourg en Allemagne et intègre 12 pays : Allemagne, Norvège, Roumanie, Royaume-Uni, Danemark, Malte, Chypre, Slovaquie, Hongrie, Espagne, Hollande, Suisse.

What exactly does inquiry-based learning mean?

Author: PRIMAS-team

Inquiry-based learning aims to develop and foster inquiring minds and attitudes that are vital for pupils being able to face and manage uncertain futures. Fundamentally, learning is based on pupils adopting an active, questioning approach.

Pupils inquire and pose questions, explore and evaluate. The problems they address seem real to them. Learning is driven by open questions and multiple-solution strategies. Teachers are proactive: they support and encourage pupils who are struggling and extend those that are succeeding through the use of carefully chosen strategic questions. They value pupil contributions - including mistakes, and scaffold learning using pupils' reasoning and experience. In the classroom there is a shared sense of purpose and ownership. The following figure shows the different perspectives of a classroom culture in which inquiry-based learning takes place. However, not everything needs to be or can be changed towards IBL. IBL is an essential *ingredient* of good education.



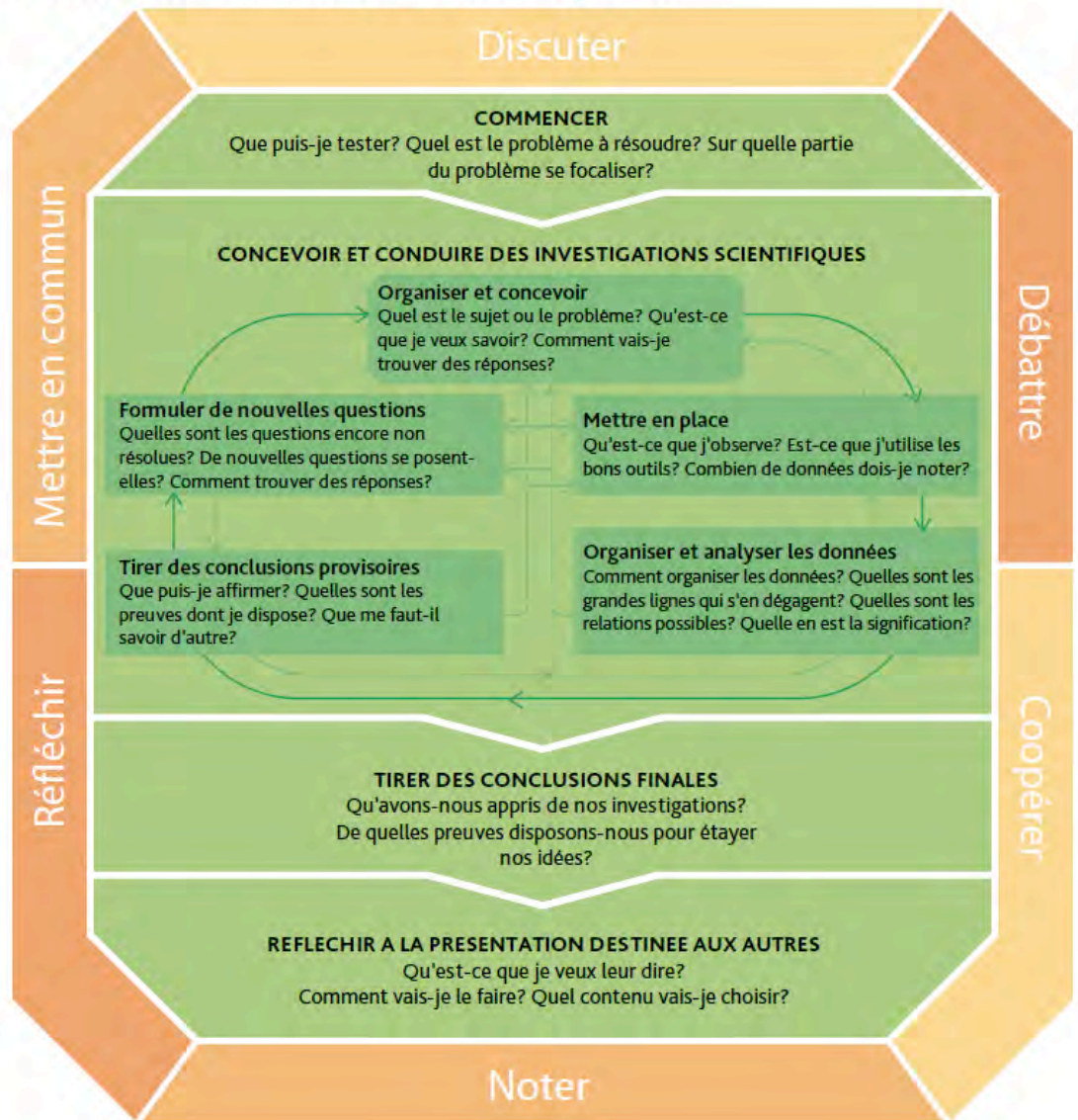
Définition de la D.I. dans le programme PRIMAS

3. Accessible sur le site PRIMAS : <http://www.primas-project.eu> (consulté août 2014)

Programme POLLEN⁴

Ce programme du « *sixth seventh framework programme* » était dirigé par *La Main à la Pâte* a impliqué 12 pays : France, Espagne, Belgique, Estonie, Allemagne, Hongrie, Italie, Hollande, Portugal, Slovénie, Suède, Royaume-Uni.

Cadre de la démarche scientifique d'investigation



Définition de la D.I. dans le programme POLLEN

4. Le programme POLLEN n'est plus disponible en ligne mais le guide d'implémentation de la démarche d'investigation est accessible sur le site de la fondation La Main à la Pâte : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11941/lenseignement-des-sciences-fond-sur-linvestigation> (consulté août 2014)

Programme Fibonacci⁵

Ce programme du "*seventh framework programme*" est coordonné par l'École Normale Supérieure en France et l'université de Bayreuth en Allemagne. Elle intègre 24 pays.

The inquiry approach in science and mathematics

Inquiry based science and mathematics education (IBSME) shares some features with traditional scientific education but differs from it in many respects. It goes beyond the manipulation of materials to the key factor of engaging students in identifying relevant evidence and reflecting on its interpretations.

Three key distinguishing characteristics of IBSME must be emphasized:

- Through IBSME, students are developing concepts that enable them to understand the scientific aspects of the world around them through their own thinking, using critical and logical reasoning about evidence that they have gathered.
- Through IBSME, teachers lead students to develop the skills necessary for inquiry and the understanding of science concepts through their own activity and reasoning. This involves exploration and hands-on experiments.
- While doing science, the teacher focuses on the intentional process of
 - diagnosing problems,
 - criticizing experiments,
 - distinguishing alternatives,
 - planning investigations,
 - researching conjectures,
 - searching for information,
 - constructing models,
 - debating with peers,
 - forming coherent arguments.

Définition de la D.I. dans le programme Fibonacci

Réseau des académies des sciences (IAP)

Le réseau des académies des sciences (ou Groupe Interacadémies sur les questions internationales, *InterAcademies Panel*, IAP) rassemble les académies des sciences de plus de 50 pays. Leur groupe de travail sur l'IBSE, qui bénéficie de l'expertise de Wynne Harlen, une des pionnières de la démarche d'investigation au Royaume-Uni, les a conduit à construire une liste de descripteurs de la démarche d'investigation⁶ puis une définition⁷ de l'IBSE.

IBSE means students progressively developing key scientific ideas through learning how to investigate and build their knowledge and understanding of the world around. They use skills employed by scientists such as raising questions, collecting data, reasoning and reviewing evidence in the light of what is already known, drawing conclusions and discussing results. This learning process is all supported by an inquiry-based pedagogy, where pedagogy is taken to mean not only the act of teaching but also its underpinning justifications.

Définition de la D.I. de l'IAP

5. Accessible sur le site Fibonacci : <http://fibonacci.uni-bayreuth.de> (consulté août 2014)

6. Collectif, *Rapport du Groupe de travail sur la Collaboration Internationale pour L'Évaluation des Programmes D'Enseignement Scientifique Fondés sur L'Investigation (ESFI)*. (p. 38-40). Accessible sur le site de la fondation La Main à la Pâte : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/14211/rapport-du-groupe-de-travail-sur-la-collaboration-internationale-pour-levaluation-des> (consulté août 2014)

7. Wynne Harlen, *Assessment and Inquiry-Based Science Education : Issues in Policy and Practice*, éd. IAP, e-book, téléchargeable sur le site Lulu : <http://www.lulu.com/shop/wynne-harlen/assessment-inquiry-based-science-education-issues-in-policy-and-practice/ebook/product-20882381.html> (consulté août 2014)

Les indicateurs de la mise en oeuvre de l'ESFI

Aucun descripteur, tiré du contexte des autres éléments de la liste, ne peut représenter à lui seul la démarche d'investigation ; c'est au contraire la combinaison de l'ensemble des descripteurs qui traduit ce qu'on entend par « enseigner et apprendre par la méthode d'investigation ».

Les enseignants doivent :

- Offrir aux élèves la possibilité de se confronter à des instruments et des phénomènes qu'ils pourront manipuler et explorer de première main.
- Organiser la discussion en petits groupes et dans toute la classe au sujet des protocoles qu'on va ou qu'on vient d'appliquer, des choix à faire et des moyens à utiliser en vue d'améliorer une investigation donnée.
- Encourager la tolérance, le respect mutuel et l'objectivité au cours des discussions en classe.
- Offrir l'accès à de nouvelles procédures et idées en menant des débats, en se référant à des ouvrages, ainsi qu'à des ressources comme l'Internet et autres sources d'aide.
- Proposer des actions stimulantes en fournissant les moyens pour permettre aux élèves de se mesurer à une expérimentation d'un niveau plus avancé.
- Enseigner les techniques utiles pour améliorer la capacité à faire un usage fiable de l'équipement, des instruments de mesure et des symboles conventionnels.
- Encourager les élèves, à travers discussions et interrogations, à s'assurer que leurs idées sont bien en accord avec les résultats présents.
- Aider les élèves à noter leurs observations et autres informations d'une façon qui permette de les utiliser et de les communiquer aisément.
- Stimuler une réflexion critique sur ce qu'ils ont appris et comment ils pourront l'utiliser pour des acquis ultérieurs.
- Faire réfléchir les élèves pour les motiver dans des utilisations futures de l'investigation.

Les élèves devront :

- Collecter des informations en observant des phénomènes ou en utilisant d'autres sources.
- Développer des questions qu'ils considèrent comme les leurs même si elles ont été suscitées par le maître.
- Faire émerger de nouvelles questions qui peuvent déboucher sur une investigation.
- Faire des prédictions fondées sur ce qu'ils pensent ou découvrent.
- Discuter entre eux et avec le maître au sujet de ce qu'ils observent ou recherchent.
- S'exprimer en utilisant à bon escient les termes et les représentations scientifiques appropriés aussi bien dans l'écrit que dans l'oral.
- Suggérer des façons de soumettre à l'expérience leurs idées ou celles des autres pour voir s'il existe des preuves à l'appui de ces idées.
- S'impliquer dans la réalisation d'expériences appropriées pour donner une réponse aux questions spécifiques qu'ils se sont posées.
- Utiliser correctement et avec confiance les instruments et équipements.
- S'efforcer de résoudre les problèmes pour eux-mêmes.
- Utiliser toutes sortes de sources d'information pour ce dont ils ont besoin durant leur recherches.
- Tester la validité et l'utilité de différentes idées par rapport aux résultats des expériences.
- Tenir d'autres idées que les leurs.
- voir une réflexion autocritique quant au déroulement et aux résultats de leur investigation.

Descripteurs de la D.I. proposés par l'IAP

Partie 3

Problématique

3. Problématique

Comment aider les enseignants du primaire à enseigner les sciences ?

Leur permettre de se forger une vision claire de la nature de la science peut être un élément de solution. C'est du moins l'une des hypothèses sur lesquelles sont basés les nouveaux programmes américains, pour l'école primaire comme pour le secondaire.

La réflexion épistémologique sur la nature de la science est donc un enjeu très actuel pour la communauté de la didactique des sciences, en particulier dans le monde anglosaxon. De même, de nombreuses recherches portent sur les représentations de la nature de la science des enseignants, et le développement de stratégies pour les modifier le cas échéant.

Pour cela, la très grande majorité des auteurs partent aujourd'hui, dans un mouvement descendant, de représentations de la science telle qu'elle est pratiquée dans la communauté scientifique professionnelle, pour aboutir à la science telle qu'ils souhaiteraient qu'on la pratiquât à l'école. Si les débats sont souvent vifs entre les tenants de telle ou telle représentation particulière, de telle ou telle détermination du périmètre de la science, de tel ou tel jeu de caractéristiques épistémologiques dont la maîtrise par les enseignants est considérée comme indispensable, ils remettent rarement en cause cette approche "*top-down*", de la "science des scientifiques" vers la science scolaire.

Conçue initialement pour l'enseignement secondaire, l'approche *top-down* peut ensuite être déclinée pour des élèves plus jeunes. Les quelques tentatives connues d'adapter l'approche *top-down* au primaire ne semblent cependant pas très convaincantes jusqu'à présent. Nous allons donc tenter de développer une approche alternative que nous qualifierons de *bottom-up*, complémentaire et adaptée dès l'origine à l'enseignement primaire. Elle consiste à partir des pratiques de classe effectives, pour "remonter" vers la nature de la science, dans un mouvement ascendant.

On s'appuiera principalement dans ce travail sur les pratiques mises en œuvre dans le cadre de l'enseignement de la physique par démarche d'investigation. L'outil de base en sera la notion de critère de scientificité, empruntée à la tradition épistémologique.

Critères de scientificité

Il s'agira dans un premier temps d'identifier des critères qui soient à la fois applicables aux pratiques de classe et reconnus par la science professionnelle.

Question de recherche 1.

Peut-on construire un jeu opératoire de critères de scientificité adapté à la science scolaire du primaire ? (*partie 5*)

Cette question comporte *a priori* deux volets : méthodologique et épistémologique. Le premier sera traité par l'exemple, dans le cas particulier de la physique, par la construction effective d'un jeu de critères de scientificité.

1.a. *Les critères ainsi construits sont-ils adaptés au contexte de l'école primaire ?*

L'adaptation au contexte scolaire de ces CS individuels, et de leur formulation, sera vérifiée en y confrontant des enseignants et des futurs enseignants lors de démarches d'investigation et, dans toute la mesure du possible, leur mise en œuvre dans des classes.

1.b. *Le jeu de critères de scientificité dégagé est-il discriminant ?*

Le caractère opératoire d'un jeu de CS sera, quant à lui, testé au regard de sa capacité à discriminer pratiques scientifiques et non scientifiques, comme les investigations d'un astrologue ou d'un inspecteur de police archétypaux.

Du point de vue épistémologique, dans une approche *bottom-up* de la nature de la science scolaire, celle-ci est par construction déterminée par les pratiques de classe considérée comme recevables, donc par le ou les jeux de critères de scientificité considérés.

1.c. *Quelle est la nature de la science scolaire ainsi proposée aux élèves (et aux enseignants) ?*

Une limite de ce questionnement est que, si la *méthode* de construction d'un jeu de CS pour la science scolaire a une vocation plus générale, la présente étude reste limitée aux pratiques relevant des seules sciences physiques, auxquelles sont adaptées les formulations des critères de scientificité envisagés.

Représentations enseignantes de la nature de la science

Dans un second temps, on cherchera à identifier les modalités les plus favorables à l'appropriation de critères de scientificité par les enseignants du primaire.

Question de recherche 2.

Quelle(s) stratégie(s) pédagogique(s) favorise(n)t-elle(s) l'émergence d'une vision plus claire de la nature de la science ? (*partie 6*)

Faute d'études disponibles sur la question en France, on commencera par essayer d'identifier les représentations de la science et les critères de scientificité spontanés des enseignants.

2.a. *Quelles sont les représentations de la nature de la science et les critères de scientificité spontanément mis en œuvre par les enseignants du primaire ?*

Les programmes français actuels, « *dans l'esprit de La Main à la Pâte* », n'incluent aucune indication sur la nature de la science. Une hypothèse implicite semble être que la simple pratique de la démarche d'investigation permet aux participants de s'en forger une représentation.

2.b. *La démarche d'investigation seule suffit-elle pour modifier la vision de la science des enseignants ?*

En cas de réponse négative, la position privilégiée de praticien-chercheur permettra d'explorer plusieurs stratégies possibles de moduler les modalités des formations réalisées tant avec des enseignants en poste qu'avec des étudiants futurs enseignants.

2.c. *Quels éléments épistémologiques faut-il intégrer à la D.I. pour favoriser l'émergence d'une vision claire de la nature de la science chez les enseignants ?*

De la science à l'école maternelle ?

Par construction, une approche *bottom-up* de la nature de la science s'appuie sur des pratiques de classe effectives. Pourvu qu'elles satisfassent aux critères de scientificité correspondantes, celles-ci peuvent être considérées comme scientifiques, au sens de la science scolaire. Mais y a-t-il une sophistication minimale des pratiques éligibles, qui disqualifierait *a priori* les pratiques des petites classes ?

Question de recherche 3.

Y a-t-il une limite d'âge inférieure pour faire légitimement de la science à l'école primaire ? (partie 7)

Les programmes français réservent la formulation de "sciences expérimentales" au cycle 3 (CE2-CM2) et préfèrent parler de "découverte du monde" pour les élèves plus jeunes. Nombre de praticiens semblent en effet penser qu'on ne saurait vraiment "faire de la science" avant 8 ans. Nous avons donc entrepris d'évaluer la capacité d'élèves de l'école maternelle à s'approprier des éléments de méthode scientifique. Toutefois, pour éviter de trop grandes difficultés liées à la maîtrise du langage, nous avons choisi de focaliser l'étude sur des enfants en grande section de maternelle (4-5 ans) ou plus âgés.

3.a. *Quels critères de scientificité un enseignant peut-il appliquer avec des élèves de grande section de maternelle ?*

3.b. *Quelles compétences méthodologiques proprement scientifiques peuvent-elles être développées par des élèves de grande section ayant pratiqué des démarches d'investigation ?*

On s'intéressera en particulier à la modélisation. Les jeunes enfants n'ayant pas accès aux modèles mathématiques, faute de compétences suffisantes dans ce domaine, on déploiera des outils spécifiques, comme la fiction.

3.c. *Peut-on travailler la modélisation scientifique dès l'école maternelle ?*

Partie 4

Méthodologie

Cette partie se décompose en deux sections, présentant respectivement la méthode suivie pour formuler des critères de scientificité opératoire à l'école primaire (4.1., Méthodologie théorique) et les moyens et les procédures mis en œuvre pour recueillir et traiter les données de terrain (4.2., Méthodologie expérimentale).

4.1. Méthodologie théorique

En termes méthodologiques, une approche *top-down* de la science scolaire présente l'avantage de pouvoir s'appuyer directement sur des démarches existantes, aussi bien sociologiques¹ qu'épistémologiques,² pour tenter de qualifier la science telle qu'elle se pratique aujourd'hui, dans toute sa diversité. La posture symétrique, pour une approche *bottom-up*, n'aurait malheureusement pas grand sens. En effet, si de nombreux travaux ont étudié les pratiques pédagogiques à l'œuvre dans les écoles en cours de "sciences", toutes n'ont pas, pour le moins, la même pertinence. La simple recherche d'un dénominateur commun n'aboutirait qu'à un tableau et à des définitions de la science scolaire sans légitimité aucune, du point de vue épistémologique du moins.

Les éléments de scientificité qui seront identifiés (ou préconisés) dans ces pratiques, et à partir desquels on tentera de construire des définitions de la science scolaire, devront donc également tirer leur légitimité d'une parenté directe avec ceux à l'œuvre dans la science *stricto sensu* — et donc, indirectement, des mêmes démarches épistémologiques et sociologiques, auxquelles il conviendra d'ajouter l'histoire des sciences, l'actualité n'étant pas *a priori* une contrainte de la science scolaire.

Une première tâche consistera donc à identifier un ensemble aussi complet que possible d'éléments de scientificité bénéficiant de cette légitimité. Dans un second temps, on identifiera ceux susceptibles d'être travaillés au niveau de l'école primaire, et on en dérivera un ensemble de critères discriminant entre science et non science. Enfin, ces critères seront reformulés de manière opératoires à l'école.

4.1.1. IDENTIFICATION D'UN ENSEMBLE D'ÉLÉMENTS DE SCIENTIFICITÉ

1.1.1. Constitution du corpus

Corpus historique

On considérera prioritairement les « *ouvrages paradigmatiques* », au sens que Thomas Kuhn donne à cette expression, c'est-à-dire des livres qui ont servi « à définir

1. L'étude réalisée par John Osborne et al. en 2003 est typique de cette approche. Il y interroge 23 spécialistes de 5 origines différentes (éminents scientifiques, philosophes et sociologues des sciences, "individus-clé" engagés dans la communication scientifique, personnalités impliquées dans la conception des programmes en sciences et enseignants des sciences reconnus pour leur expertise d'enseignant) sur ce qui devrait selon eux être enseigné sur la nature de la science, ses méthodes et ses institutions et pratiques sociales au lycée et identifie les réponses communes. J. Osborne, S. Collins, M. Ratcliffe, R. Millar et R. Duschl, « What "ideas-about-science" should be taught in school science ? A Delphi study of the Expert Community ». *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (7), 2003, pp. 692-720.

2. Norman G. Lederman et al. considèrent quant à eux qu'à un certain niveau de généralité, certains aspects de la nature de la science ne sont pas controversés parmi les philosophes, scientifiques et sociologues. Il s'agit alors de choisir parmi ces derniers ceux accessibles et pertinents pour des élèves (de lycée). Voir par exemple N. G. Lederman, F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell et R.S. Schwartz, « Views of nature of science questionnaire : Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science », *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), 2002, pp. 497-521. W.F. Mc Comas et J.K. Olson ont de leur côté scruté le contenu de différents programmes scolaires pour y recenser leurs points de convergence sur la nature de la science : W. F. McComas et J. K. Olson, « The Nature of Science in International Science Education Standards Documents », in *The Nature of Science in Science Education : Rationales and Strategies*, éd. Kluwer, Dordrecht, W. F. McComas (dir.), 1998, pp. 41-52.

implicitement les problèmes et les méthodes légitimes d'un modèle de recherche pour des générations successives de chercheurs »³. Ce choix repose sur les notions kuhnniennes de « science normale » et de « matrice disciplinaire » : les éléments de scientificité constitutifs d'un paradigme donné font partie intégrante de la matrice disciplinaire correspondante, ils n'évoluent que peu en phase de science normale. De nouveaux éléments de scientificité sont en revanche forgés lors des « révolutions » scientifiques (dans le lexique de Kuhn ; ou lors des « crises », dans celui de Piaget⁴) ; et exprimés, en particulier, dans leurs ouvrages paradigmatiques⁵.

On considérera donc en particulier les ouvrages paradigmatiques associés à la naissance de la physique aristotélicienne ; à la condamnation parisienne de 1277⁶ ; aux révolutions copernicienne et galiléenne ; à la formalisation newtonienne de la physique ; et à la naissance de la physique contemporaine, au tournant du XX^e siècle.

À cette littérature primaire, relativement peu nombreuse mais parfois assez technique (et d'autant plus difficile d'accès qu'on considère des textes plus anciens), nous adjoindrons systématiquement quelques ouvrages d'historiens des sciences en analysant l'importance historique ou épistémologique.

Ouvrages épistémologiques

On considérera d'autre part les textes philosophiques classiques explicitement consacrés à la méthode scientifique (en général, pour la période cartésienne) et plus spécifiquement à celle de la physique (depuis Auguste Comte). Pour les contributions plus récentes, on s'intéressera à celles portant sur la "question de la démarcation" entre science et non science, avec une attention particulière aux débats sur la possibilité d'un critère de scientificité universel.

Des ouvrages philosophiques à visée plus pédagogique (cours, dictionnaire d'épistémologie, histoires de la philosophie des sciences) ainsi que des ouvrages régulièrement cités par les didacticiens compléteront ce corpus.

Ouvrages didactiques

On prendra également en compte, dans toute la mesure du possible (compte tenu du nombre et de la variété des approches alternatives), les principales études récentes sur la nature de la science scolaire, dans un contexte plus spécifiquement didactique. En ce qui concerne les contributions françaises, au-delà des références communément reconnues par la communauté (e.g. dictionnaires, ouvrages fondateurs), on retiendra les thèses consacrées à la

3. Thomas S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962), éd. Flammarion, 1983, pp. 29-30. Dans sa postface de 1969, Kuhn lui-même souligne que le paradigme en tant que « qu'exemple commun » lui semble peut-être « l'aspect le plus novateur et le moins compris » de son essai (p. 255).

4. « La réflexion épistémologique prend toujours naissance à propos des "crises" de telle ou telle science et ces "crises" résultent des lacunes des méthodes antérieures pour être surmontées grâce à l'invention de nouvelles méthodes. » Jean Piaget, « L'Épistémologie et ses variétés », in *Logique et connaissance scientifique*, dir. J. Piaget, Gallimard NRF, coll. Encyclopédie de la Pléiade, 1967 p. 8.

5. « La période antérieure à la formation d'un paradigme est régulièrement marquée par des discussions fréquentes et profondes sur les méthodes légitimes, les problèmes, les solutions acceptables. [...] Bien qu'elles soient presque inexistantes durant les périodes de science normale, elles se reproduisent régulièrement juste avant et pendant les révolutions scientifiques », Thomas S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques* op. cit., p. 75.

6. Que Pierre Duhem, en particulier, tient pour un tournant majeur vers la science moderne. Pierre Duhem, *Le Système du monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Vol.6, *Le Reflux de l'aristotélisme ; les condamnations de 1277*, éd. Hermann, 1913.

question de la scientificité ainsi que les articles en traitant dans les principales revues (*Aster*, *Didaskalia*). Viennent s’y ajouter, pragmatiquement, tous les ouvrages spécifiquement conseillés par des didacticiens rencontrés lors de colloques ou journées d’études.

En ce qui concerne la communauté internationale, on considérera de la même façon des ouvrages de référence (et en particulier les *Handbooks*) et les actes de colloques récents ayant programmé une session "*Nature of Science*" (e.g. ESERA).

Une recherche électronique systématique à l’aide du moteur de recherche ERIC (mots clés : *nature of science*, *primary school*, *children*) permet l’identification d’un premier ensemble d’articles de recherche. L’analyse de la bibliographie des plus pertinents fournit de nouvelles pistes, ainsi que de nouveaux mots-clés de recherche (e.g. par auteurs cités). De nouveau, ce corpus est par ailleurs pragmatiquement complété par des articles directement conseillés dans divers contextes académiques.

Documents officiels

On explorera systématiquement les programmes français de l’école primaire et du collège, ainsi que les recommandations de l’Académie des sciences et de fondations comme *La Main à la pâte*.

On y adjoindra les rapports récents et recommandations concernant l’enseignement des sciences à l’école de l’Inter Academic Panel et du National Research Council (U.S.A.).

Ouvrages réflexifs de scientifiques éminents

On prendra également en compte les ouvrages de quelques scientifiques éminents revenant sur leur propre pratique scientifique, ou sur celles de leur communauté, et en particulier ceux spontanément évoqués comme leurs propres modèles par des scientifiques professionnels lors de discussions formelles ou informelles.

Ouvrages de vulgarisation et d’enseignement des sciences

Nous y intégrons également des ouvrages visant à faire comprendre au public la méthodologie scientifique.

Controverses scientifiques, non science et fraudes scientifiques

On s’attachera par ailleurs à analyser les compte-rendus de controverses scientifiques célèbres (e.g. : la “mémoire de l’eau”, les rayons N) et d’exemples de “science pathologique” (au sens de Langmuir). De même, on prendra en compte des discours à prétention “scientifique” émanant de communautés non scientifiques (e.g. l’astrologie), ou constitutifs de canulars (e.g. l’affaire Sokal) ou de fraudes scientifiques caractérisées. Enfin, on s’intéressera aux parcours et aux méthodes de « dégonfleurs » connus d’abus para-scientifiques, comme Robert Wood ou, plus près de nous,⁷ Henri Broch.

7. L’Université de Nice abrite un laboratoire de Zététique qui, de 1986 à 2002, a examiné en détail et éprouvé expérimentalement plus de 260 revendications d’ordre parapsychologique, dans le cadre d’un “défi zététique international”, sans pouvoir en valider aucune. La mise au point de la procédure impliquait un physicien, Henri Broch, et un illusionniste, Gérard Majax. en ligne : <http://webs.unice.fr/site/broch/defi5.html> (consulté août 2014)

Enfin, nous intégrerons au corpus tout ouvrage spontanément évoqué par un scientifique, un philosophe ou un didacticien des sciences, en rapport avec la question de la démarcation entre science et non science, ou avec un élément de scientificité particulier.

1.1.2. Limites du corpus

Le corpus ainsi constitué (Addendum 4) ne vise en aucun cas à l'exhaustivité. Son objet est d'identifier un ensemble aussi complet que possible d'éléments de scientificité. Il assume donc un caractère à la fois arbitraire et résolument ouvert, dans la mesure où il peut à tout moment s'enrichir de références nouvelles.

1.1.3. Identification d'éléments de scientificité

Sur la base de ce corpus, on identifie :

- les critères explicitement revendiqués par les différents auteurs pour valider ou invalider la scientificité d'une pratique, *à une époque donnée*.
- les critères implicitement mis en œuvre, dans les mêmes conditions.
- Un jeu d'exemples de pratiques dûment reconnues comme scientifiques par la communauté scientifique actuelle, intuitives ou anti-intuitives, au sens où, en premier examen, leur scientificité pouvait paraître discutable.
- Un jeu d'exemples de pratiques finalement reconnues comme non scientifiques par la communauté, mais qui, en premier examen, pouvaient paraître recevables.

Par construction, la liste d'éléments de scientificité ainsi établie présente de nombreuses répétitions d'éléments apparentés entre eux. Elle inclut par ailleurs des éléments obsolètes. Il est donc nécessaire de les réorganiser sous la forme d'un ensemble de contraintes de scientificité indépendantes les unes des autres, et susceptibles de s'imposer à des pratiques scientifiques contemporaines.

4.1.2. ORGANISATION D'UN ENSEMBLE DE CONTRAINTES

1.2.1. Regroupements et élagages

Dans un premier temps, on regroupe les éléments similaires ou fortement apparentés. Chaque ensemble ainsi identifié donne lieu à la formulation synthétique, en langage scientifique moderne, d'une contrainte applicable à une catégorie de pratiques scientifiques.

Chacune de ces contraintes est ensuite appliquée au jeu d'exemples de pratiques reconnues pour scientifiques. Toute incompatibilité entraîne d'abord une tentative de reformulation tenant compte du cas particulier problématique. Si la

contrainte ainsi allégée reste excessivement sélective, et revient à contester la scientificité d'une pratique acceptée, elle est purement et simplement éliminée.

Dans un second temps, on évalue la pertinence de chacune de ces contraintes au regard de ce qu'il semble raisonnable d'attendre d'élèves du primaire et de leurs enseignants. Les contraintes trop abstraites ou trop complexes pour s'adapter à des pratiques de classe sont reformulées dans l'esprit d'une adaptation à des pratiques concrètes. Ces contraintes simplifiées sont alors de nouveau soumises aux mêmes filtres que les contraintes initiales. Les contraintes inadaptées au primaire et dont aucune reformulation n'apparaît recevable sont écartées.

1.2.2. Dissociations et élargissement du corpus

Chaque élément de scientificité apparaissant au cours de l'étude, que ce soit lors d'analyses de pratique ou du fait de commentaires externes, est confronté à la liste de contraintes ainsi établie.

Dans le cas où une correspondance apparaît, mais où la formulation apparaît mal adaptée à cet élément particulier, la contrainte est reformulée pour prendre en compte cette difficulté nouvelle, sans perte de généralité. Si cela s'avère impossible, elle est scindée en autant de contraintes moins générales (e.g. une formulation spécifique pour l'expérimentation, et une pour sa documentation) qu'il est nécessaire.

Si en revanche aucune concordance n'apparaît, on procède à un élargissement du corpus en identifiant d'une part des ouvrages classiques et d'autre part des articles de recherche (*via* la base de données ERIC par exemple) ayant traité de l'élément de scientificité problématique. Ces nouvelles références donnent lieu au même traitement que précédemment.

1.2.3. Catégorisation

Les contraintes ainsi obtenues sont ensuite réparties en quatre catégories, correspondant aux trois grands types de pratiques scientifiques exercées à l'école primaire et facilement reconnaissables par les enseignants, auxquels s'ajoute la catégorie plus ouverte de "méthodologie scientifique" :

- méthodologie scientifique
- observation & expérience
- discours & représentations
- argumentation & théorisation

Les contraintes relevant de plusieurs catégories sont scindées en autant de contraintes plus spécifiques.

4.1.3. CONSTITUTION ET TEST D'UN JEU DE CRITERES DE SCIENTIFICITE

Chacune des contraintes de scientificité ainsi établies est ensuite reformulée sous forme d'un critère utilisable à l'école primaire, et donc accessible aux enseignants et aisément applicable aux situations rencontrées en classe. Leur formulation doit donc

être simple, univoque et directement compréhensible. On privilégie des phrases de construction grammaticale simple (typiquement sujet/verbe/complément, sans doubles négations) et utilisant un vocabulaire courant, à l'exclusion des lexiques techniques de la physique ou de l'épistémologie.

Par ailleurs, la question "*le critère est-il vérifié ?*" doit aisément conduire à une réponse en "oui" ou "non", après un test immédiatement dérivable de sa formulation et aisé à mettre en œuvre. On applique enfin le jeu de CS ainsi construit aux exemples précédemment établis de pratiques reconnues pour scientifiques, ou non.

Si cet ensemble échoue à exclure la scientificité d'une pratique *a priori* non scientifique, un critère spécifique est ajouté à la liste. S'il met en cause celle d'une pratique *a priori* scientifique, la formulation du critère en cause est remaniée en conséquence.

Lorsque le jeu de critères de scientificité permet de qualifier correctement l'ensemble des exemples considérés, il est soumis à des enseignants ; les critères jugés trop complexes pour être utilisés en situation de classe sont reformulés, et de nouveau testés selon la procédure précédente. Lorsqu'un jeu de critères de scientificité s'avère à la fois discriminant entre les exemples disponibles de pratiques scientifiques ou non et accessible aux enseignants, il est considéré comme opératoire.

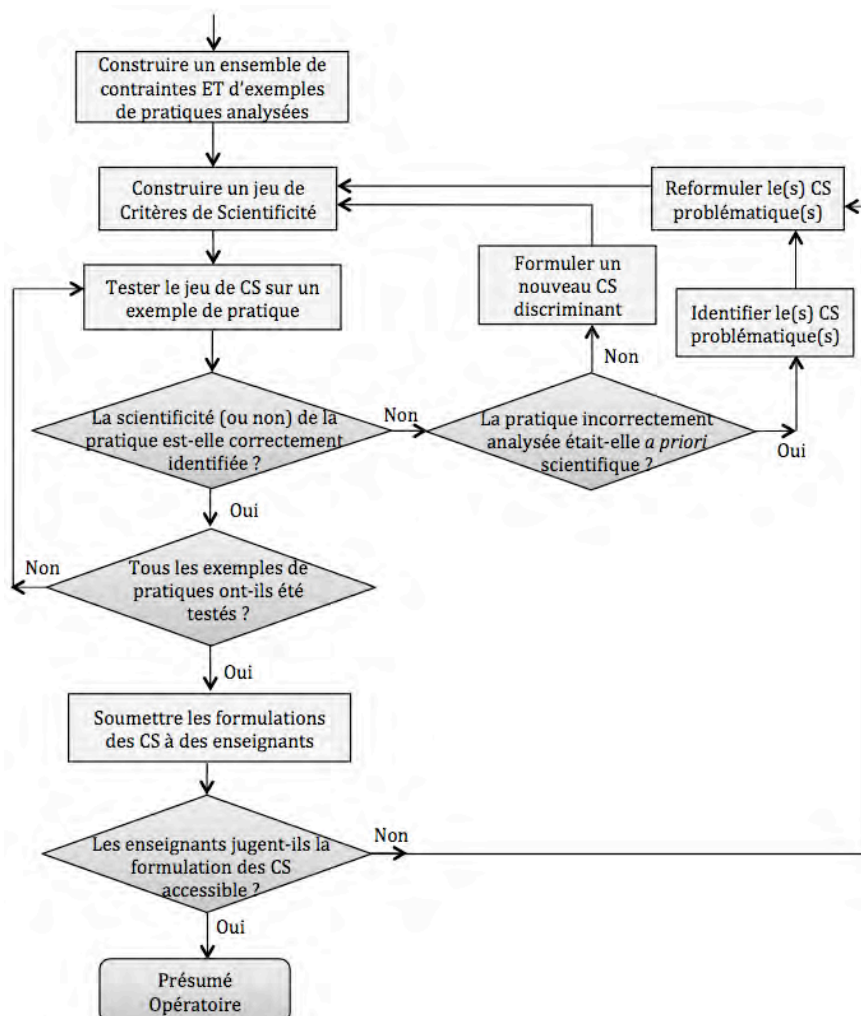


Figure 4.1.3. : Organigramme de la constitution d'un jeu de CS

4.2. Méthodologie expérimentale

La recherche de constantes et de comportements génériques, que ce soit en termes de rapport à la science, de réception et d'appropriation d'éléments de scientificité ou de prévalence de certains obstacles épistémologiques, implique de travailler sur des populations suffisamment conséquentes — typiquement, des centaines voire des milliers de sujets — pour constituer un échantillon statistiquement significatif et gommer l'effet des comportements idiosyncrasiques.

Cet objectif a pu être atteint, au moins en partie, en adoptant la posture du « praticien-chercheur »⁸ et en adossant la recherche à une pratique d'enseignement impliquant en particulier de nombreuses cohortes d'étudiants de l'IUFM de Nice et d'enseignants des Alpes-Maritimes en formation permanente.

Cette option méthodologique⁹ présente toutefois plusieurs inconvénients. En premier lieu, la contrainte de « transparence » de la recherche : la qualité de la formation des sujets qui, souvent, préparent un concours, ne doit en aucun cas être sacrifiée à des considérations externes. Ensuite, l'inhomogénéité des publics considérés, certains groupes n'étant suivis que pendant quelques heures quand d'autres le sont sur une formation complète, qui impose des procédures d'acquisition de données adaptées au cas par cas. Enfin, le fait que la très grande majorité des formations-support sont assurées par une même formatrice, qui ne peut s'évaluer elle-même.

4.2.1. PUBLICS ADULTES

2.1.1. La posture de praticien-chercheur

La plupart des données expérimentales sont acquises à l'occasion de formations assurées par le chercheur lui-même, qui assume donc sur son terrain professionnel un double rôle, de praticien et de chercheur. Ce dédoublement est d'abord temporel et le mouvement peut être qualifié « d'oscillation pendulaire », ¹⁰ les deux points de vue alternant et s'appuyant l'un sur l'autre. Ainsi, la réflexion théorique précède la phase d'enseignement et peut influencer sur le détail des pratiques pédagogiques, et la suit pour l'analyse *a posteriori* des données recueillies ; mais lors du recueil de données proprement dit, qui a lieu au cours de séances de classe, le chercheur s'efface au profit du formateur.

8. L'expression est empruntée à Catherine De Lavergne : « La Posture du praticien-chercheur : un analyseur de l'évolution de la recherche qualitative », in *Recherches Qualitatives*, Hors série n°3 du juin 2007, Actes du colloque Bilan et perspectives de la recherche qualitative en sciences humaines et sociales, 27-29 juin 2006, Université Paul Valéry, Montpellier 3. Accessible en ligne sur le site de la revue (consulté août 2014) :

http://www.recherche-qualitative.qc.ca/revue/hors_serie/hors_serie_v3/Delavergne-FINAL2.pdf

9. Dont le principe a été validé en amont lors de discussions avec Wynne Harlen (communication privée, 2008) et André Giordan ainsi que pendant le 3^e séminaire international sur les Méthodes de recherche en didactiques, *Questionner l'implicite*, Villeneuve d'Ascq, IUFM Nord Pas-de-Calais/Lille 3/Théodile, Juin 2008)

10. « Le chercheur oscille d'une position de professionnel à une position de chercheur, aimanté tour à tour par ces deux pôles dans l'interaction avec les acteurs (situation de double contrainte)/.../ Cette oscillation peut correspondre à différents temps de la recherche. », C. De Lavergne, « La Posture du praticien-chercheur : un analyseur de l'évolution de la recherche qualitative », op. cit., pp. 37-38.

Inversement, la pratique pédagogique précède et informe la réflexion théorique, et idéalement s'enrichira à terme des résultats de l'étude ; mais, lors de l'analyse des données, c'est le formateur qui s'efface au profit du chercheur. Pour autant, cette posture n'exclut pas la co-existence ponctuelle, en situation, des positions de chercheur et de formateur dans une « gestion dialogique », selon la typologie de Ruth Canter Kohn¹¹.

Outre un accès direct à un public conséquent, cette approche présente l'avantage d'une complète maîtrise de la mise en œuvre méthodologique, en particulier en ce qui concerne la construction et la mise en place des séances en classe. Certains auteurs, comme Gérard Sensevy, vont jusqu'à estimer qu'elle permettrait, dans l'idéal de dépasser deux types d'obstacles, empiriste et intellectualiste auxquels sont confrontés les chercheurs en science de l'éducation.¹²

Pour autant, elle présente aussi des risques spécifiques non négligeables, comme la tentation mise en avant par C. De Lavergne¹³ de basculer le discours de recherche vers un discours de formation. Le praticien-chercheur doit donc s'imposer la discipline d'une nécessaire mise à distance de sa pratique une fois les séances achevées. Christine V. McDonald met également en garde contre le risque plus insidieux de dérapages liés à une subjectivité peu ou non questionnée du chercheur.¹⁴

Précautions méthodologiques

Nous avons donc mis en place des « garde-fous » inspirés des précautions proposées par McDonald dans une étude comparable¹⁵ à la présente pour élaborer nos propres garde-fous. Dans un premier temps, nous avons favorisé le croisement des regards sur les déroulements en invitant des physiciens, didacticiens ou enseignants¹⁶ à assister en tant qu'observateurs neutres à certains cours : ils ont ainsi pu fournir un point de vue externe sur les déroulements. Les discussions fréquentes avec des collègues chercheurs tant en physique qu'en didactique sur la recherche en cours ont également contribué à l'explicitation de certaines stratégies utilisées qui n'avaient pas été totalement interrogées.

11. R.C. Kohn, « Les Positions enchevêtrées du praticien-qui-devient-chercheur », in *Praticien et chercheur. Parcours dans le champ social*, dir. M.-P. Mackiewicz, éd. L'Harmattan, Paris, 2001, pp.15-38.

12. Pour Gérard Sensevy, la posture de chercheur-praticien peut contribuer au dépassement d'obstacles auxquels est confronté le chercheur en sciences de l'éducation : « *Le chercheur-praticien qui produit un geste, le produit en tant que chercheur et en tant que praticien : cette association complexe est destinée à dépasser deux obstacles [...]/ l'obstacle empiriste que l'instance "chercheur" de la posture de chercheur-praticien peut déjouer, et l'obstacle intellectualiste dont l'instance "praticien" peut prémunir.* » Gérard Sensevy, *Institutions didactiques. Étude et autonomie à l'école élémentaire*, éd. PUF, Paris, 1998, pp. 74-75 ; cité par Jérôme Santini dans sa thèse de doctorat *Caractérisation de l'élaboration conjointe de la compréhension conceptuelle et des performances associées. Volcans et séismes au cours moyen*, Université Rennes 2, 2009.

13. C. De Lavergne : « La Posture du praticien-chercheur : un analyseur de l'évolution de la recherche qualitative », op. cit.

14. Christine V. MacDonald, « The Influence of Explicit Nature of Science and Argumentation Instruction on Preservice Primary Teacher' Views of Nature of Science », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 47, n°9, 2010, pp. 1137-1164.

15. *Idem.*

16. En particulier Cécile Barbachoux (agréguée de physique), Gérard Laporte (didacticien de la physique retraité), Nicole Ostrowsky (physicienne, professeur émérite), Eric Picholle (physicien, CNRS), Jean-Pierre Romagnan (physicien, professeur émérite) , Françoise Vervisch (professeur de physique en collège).

Par ailleurs, au-delà des résultats de recherche proprement dits, les données brutes recueillies sont ouvertes et autant que possible rendues largement disponibles¹⁷ pour permettre à d'autres chercheurs d'y appliquer leurs propres traitements. Les enregistrements vidéos et audios et leurs retranscriptions rendent typiquement possibles un retour sur les analyses effectuées et sur leur discussion.

2.1.2. Adaptation des cours aux nécessités de la recherche

Conditions habituelles de fonctionnement et contraintes

La plupart des cours servant de support à l'étude ne sont pas des cours de physique *stricto sensu*, mais sont plus largement consacrés à l'enseignement de la physique à l'école primaire ; une réflexion sur la nature de la science fait donc partie de leurs objectifs de formation naturels. Ils alternent mises en situation d'investigation des participants et moments plus formels de présentation magistrale de contenus et de méthodologie pour la mise en place d'investigations avec les élèves en classe.

L'adaptation des séances pour la recherche est commandée par quatre types de contraintes :

- La première contrainte porte sur le respect des attentes des participants aux cours et formations. Leur présence en formation est liée à des objectifs de réussite d'un concours ou de formation professionnelle. Le formateur a pour mission de contribuer dans toute la mesure de ses moyens à la réalisation de ces objectifs. Les méthodes de recherche sont subordonnées au respect de cette mission.
- La seconde contrainte porte sur la préservation de la relation de confiance qui s'établit entre formateur et participants à des démarches d'investigation. La perturbation inévitable provoquée par le recueil de données ne doit pas mettre en péril cette relation.
- La troisième est de nature institutionnelle. Pour le public préparant un concours, le contenu des cours est contraint par le programme. Pour la formation continue, le contenu des formations est souvent contraint par les demandes spécifiques de l'institution (animations pédagogiques, Plan Académique de Formation, formations de circonscription).
- La quatrième contrainte est matérielle : la durée des formation étant souvent déjà trop courte au regard des objectifs à atteindre, il n'est pas envisageable de bâtir des procédures de recueil de données qui prennent sur le temps de formation sans que, d'une façon ou d'une autre, ce recueil ne soit également profitable aux participants.

Le recueil des données ne doit donc pas déstabiliser la mise en place des cours, être compatible avec les objectifs des étudiants ou collègues enseignants et être accueilli avec bienveillance par les participants.

17. En ligne pour les transcriptions.

Du point de vue de la mise en œuvre des séquences, différentes stratégies sont utilisées suivant le contexte et la question de recherche considérée :

- Au fil de la démarche d'investigation : intégration de courts moments (typiquement 5-10 minutes) de réflexion sur la scientificité du travail réalisé pendant les mises en situation de démarches d'investigation et les mises au point ; ou questionnements ponctuels « sur le vif » au cours des interactions. Cette approche présente l'avantage de peu perturber la mise en œuvre des cours. Le recueil des données, éventuellement sous forme écrite,¹⁸ peut alors être quasi-transparent pour les participants. Pour ces derniers, c'est un moment constitutif de la formation parmi d'autres. Une partie de la procédure dépend alors inévitablement à la fois des réactions des participants aux démarches d'investigation et de la réactivité immédiate du formateur en situation. Cette dépendance des séquences au comportement des participants est une caractéristique propre à la démarche d'investigation avec laquelle il faut composer. La répétition d'une même séance sur plusieurs groupes de participants est une façon de repérer des comportements reproductibles et de les distinguer des idiosyncrasies des participants.
- Retour métacognitif¹⁹ : sollicitation à chaque fin de cours ou de journée (formation longue) pour que les participants réfléchissent, sur leur temps de travail personnel, à la scientificité du cours vécu et mettent par écrit leurs réflexions. Ces écrits peuvent être lus et discutés en classe lorsque le temps de formation le permet. Il s'agit ici d'ajouter au déroulement normal du cours un moment de métacognition qui invite les participants à se focaliser sur l'aspect épistémologique de leur formation.
- Sonde épistémologique²⁰ : des questionnements prémédités sont ajoutés à la démarche. Enfin, des précisions sont systématiquement apportées en fin de démarche d'investigation sur la méthodologie utilisée pendant cette démarche.
- Introduction explicite des critères de scientificité : présentation explicite de critères de scientificité et retour en fin de démarche d'investigation sur les critères vérifiés par cette démarche.

Enfin, une cinquième stratégie consiste à jumeler le cours de sciences avec un cours d'épistémologie donné par un autre enseignant.

18. La passation de questionnaire est une approche courante dans le monde anglo-saxon pour identifier les conceptions sur la nature de la science. Voir par exemple Fouad Abd-El-Khalick et Norma G. Lederman, « Improving science teachers' conceptions of nature of science : a critical review of the literature », *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 7, 2000, pp. 665-701.

19. Fouad Abd-El-Khalick et Valarie Akerson, « The Influence of Metacognitive Training on Preservice Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science », *International Journal of Science Education*, vol. 31, n° 16, 2009, pp. 2161-2184.

20. « An epistemological probe is a written or verbal prompt that orients the participants' attention to relevant NOS [nature of science] aspects highlighted in a task, or focuses the participant's attention on a question designed to draw on their epistemological knowledge or reasoning. » Christine V. MacDonald, « The Influence of Explicit Nature of Science and Argumentation Instruction on Preservice Primary Teachers' Views of Nature of Science », op. cit.

D'autre part, l'ordre des cours peut être modifié d'un groupe à l'autre pour tester l'influence des acquis d'une séquence sur la façon d'en aborder une autre.

2.1.3. Procédures de recueil des données

La passation de questionnaires brefs (typ. 5 à 10 minutes) et intégrés au processus de formation est une procédure de recueil de données légère pour les participants.

L'enregistrement vidéo des séances donne un accès au déroulement des séances, après le mise en œuvre, à des fins d'analyse. Une partie des démarches d'investigation consistant en des échanges et recherches en petit groupe, des enregistrements vocaux sont par ailleurs nécessaires si l'on souhaite recueillir les conversations entre participants. Ces enregistrements peuvent se faire de façon discrète et aussi peu perturbante que possible pour les participants, sous réserve de leur accord. Ces différentes procédures sont discutées en détail dans les sections correspondantes.

2.1.4. Publics

L'étude sur le rapport à la scientificité porte sur un total de 2144 enseignants et futurs enseignants, pour la plupart basés dans l'Académie de Nice, avec des groupes de contrôle en Suisse, Tunisie, Chili et Brunei. Tous sont strictement bénévoles, au sens où aucune contrepartie ou récompense spécifique, autre que le bénéfice normal d'une formation, n'est associée à la participation.

La contrepartie de ce public nombreux est son assez grande hétérogénéité. En revanche, la présence d'un seul opérateur (à l'exception de 5 groupes de participants sur 69) lui confère une grande homogénéité en termes procéduraux.

	<i>France</i>	<i>Suisse</i>	<i>Brunei</i>	<i>Tunisie</i>	<i>Chili</i>	<i>Sous Total étranger</i>	Total
Nb de participants à l'étude	1371	107	67	32	105	311	1682

Tableau 2.1.4. : Répartition du nombre de participants à l'étude par pays

2.1.4.1. Participants locaux

Cette étude a été réalisée à l'Université de Nice Sophia-Antipolis, entre 2007 et 2014 (soit 7 ans), sur un public d'étudiants de licence, d'élèves/étudiants préparant le concours du CRPE (concours de recrutement au professorat des écoles), d'enseignants stagiaires et d'enseignants en poste.

	Étudiants en licence	Futurs enseignants primaire (PE1/M1 EEF)	Enseignants stagiaires (PE2)	Enseignants en poste (prim.)	Total
2007/2008		90			90
2008/2009		165	107	153	425
2009/2010		150	99	10	259
2010/2011		107		47	154
2011/2012	43			238	281
2012/2013	21			87	108
2013/2014	32	11		11	54
Total	96	523	206	546	1371

Tableau 2.1.4.1.a. : Répartition du nombre de participants locaux par niveau

Les enseignants (en poste ou stagiaires) représentent donc un peu plus de la moitié de l'échantillon (52%) et les étudiants préparant le CRPE un peu plus du tiers (34%).

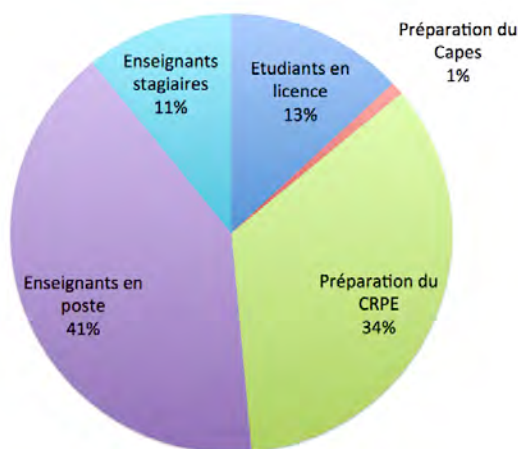


Figure 2.1.4.1.b. : Répartition des différents publics de l'étude

Types de formation

Le recueil de données est réalisé dans des contextes variés, en particulier en ce qui concerne le nombre d'heures de formation. La durée des formations impactant en général les modalités du recueil de données, cette information est systématiquement précisée dans la section détaillant les groupes de participants.

Situations au cours desquelles les données sont recueillies :

- Cours de préparation au concours du CRPE réalisés à l'IUFM articulant démarches d'investigation et contenus : les participants se répartissent dans 3 types de formation, en 9h (gr. 7, 8, 10, 11, 12, 23, 25, 26, 27, 68), 20h (gr. 32 à 37) et 24h (gr. 1 à 4 et gr. 5, 6, 9, 20, 21, 22, 24)
- Cours de 9h destinés aux enseignants stagiaires (gr. 13 et 28)
- Stages de formation continue réalisés à l'IUFM ou dans les écoles des circonscriptions articulant démarches d'investigation et contenus : leur durée varie entre 6h (gr. 18, 52) et 24h de formation (12h gp. 29 et 62, 18h gp. 38, 24h gr. 19, 30, 31, 54, 55, 56, 63)
- Animations pédagogiques de 3h réalisées à l'IUFM ou dans les circonscriptions (écoles, salles des fêtes, salles de cinéma, amphithéâtres, etc.), (gp. 15, 16, 17, 39, 51, 53, 59, 60, 61, 67)
- Stage filé à l'IUFM : organisé sous la forme de 7 journées de 6h de formation en physique articulant démarches d'investigation et contenus réparties sur l'année scolaire (gr. 14)
- Cours ponctuels à l'université ou à l'extérieur d'une durée de 2 ou 3 h (40, 41, 42, 43, 44, 47, 58, 64, 65, 66, 70)
- Cours d'enseignement des sciences séparé en trois modules : un module de 20h pour la préparation d'une manifestation scientifique, le

jardin des sciences, un module de 18h pour la mise en œuvre sur la manifestation et un module de 24 h articulant contenus et démarches d'investigation. (gr. 45, 46, 57, 69)

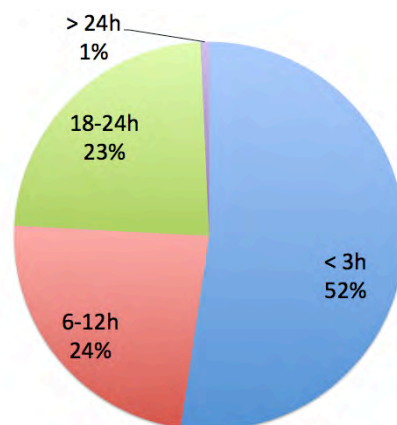


Figure 2.1.4.1.c : Répartition en fonction de la durée des formations

2.1.4.2. Participants étrangers

Afin d'identifier d'éventuelles spécificités culturelles du public local, des groupes-test d'enseignants étrangers, issus de cultures très différentes — moyen-orientale (Sultanat du Brunei), sud-américaine (Chili), Transalpine (Genève), enseignants français expatriés (Tunisie) — ont été intégrés à l'étude.

Ces formations ont été menées dans les pays correspondants, avec les mêmes contraintes²¹ et les mêmes procédures que précédemment.

	Futurs enseignants primaire (Bachelor)	Master Physique	Enseignants en poste (ens. primaire)	Enseignants en poste (ens. secondaire)	Total
2008/2009			20 (Brunei)		20
2009/2010			21 (Brunei)	26 (Brunei)	47
2010/2011					0
2011/2012			14 (Tunisie)	18 (Tunisie)	32
2012/2013	27 (Suisse)		105 (Chili)		132
2013/2014	66 (Suisse)	14 (Suisse)			80
Total	93	14	160	44	311

Tableau 2.1.4.2. : Répartition du nombre de participants étrangers par niveau

Formations réalisées :

- « Stages massés », formation intensive sur une semaine au Brunei (formation en anglais, gr. 19, 30, 31) et en Tunisie (gr. 55 et 56).
- Conférence pédagogique de 1h à l'Université de Genève avec des étudiants en Bachelor (gr. 64 & 66).

21. Auxquelles s'ajoutent éventuellement des contraintes linguistique. Les formations ont été menées en anglais au Brunei, et en français, avec traduction simultanée, au Chili.

- Passation d'un questionnaire et discussion avec des étudiants de Master Physique de l'université de Genève (gr. 70).
- Conférence de 1h suivie d'un atelier de mise en situation d'investigation de 2h lors de journées d'étude chiliennes (gr. 65).

2.1.4.3. Détail des groupes

Les tableaux ci-dessous présentent pour chaque année scolaire, les types de publics sondés. A chaque groupe est associé un numéro (gr.1, gr.2, etc.). Par ailleurs, un codage parallèle est utilisé pour le traitement des données (type de public_indexage par mois ou numéro de groupe_année scolaire). Nous indiquons également en complément du tableau le contexte dans lequel les informations ont été recueillies.

Campagne 2007-2008

2007/2008	Type de public	Cours 24h
PE1_1_2007 (gr.1)	Étud. avec Licence	20
PE1_2_2007 (gr.2)	Étud. avec Licence	22
PE1_3_2007 (gr.3)	Étud. avec Licence	22
PE1_4_2007 (gr.4)	Étud. avec Licence	26
Total		90

Tableau 2.1.4.3.a. : Types de public et de formation de la campagne 2007/2008

Campagne 2008-2009

2008/2009	Type de public	Cours 24h	Cours 9h	Stage Filé 36h	Stage FC 12h	Stage FC 6h	Anim. Péda. 3h
PE1_1_2008 (gr.5)	Étud. avec Licence	21					
PE1_2_2008 (gr.6)	Étud. avec Licence	17					
PE1_3_2008 (gr.7)	Étud. avec Licence		22				
PE1_4_2008 (gr.8)	Étud. avec Licence		23				
PE1_5_2008 (gr.9)	Étud. avec Licence	23					
PE1_6_2008 (gr.10)	Étud. avec Licence		20				
PE1_7_2008 (gr.11)	Étud. avec Licence		21				
PE1_8_2008 (gr.12)	Étud. avec Licence		18				
PE2_2008 (gr.13)	Enseign. Stagiaire		107				
SF_2008 (gr.14)	Enseign. Elem. Poste			15			
Anim1_2008 (gr.15)	Enseign. Poste						53
Anim2_Mat_2008 (gr.16)	Enseign. Mat. Poste						22
Anim3_Mat_2008 (gr.17)	Enseign. Mat. Poste						29
FC_2008 (gr.18)	Enseign. Poste					31	
Brunei_2008 (gr.19)	Enseign. Elem. Poste	20					
Total	442	81	211	15		31	104

Tableau 2.1.4.3.b. : Types de public et de formation de la campagne 2008/2009

Campagne 2009-2010

2009/2010	Type de public	Cours 24h	Cours 9h	Stage FC 12h
PE1_1_2009 (sous gr.20-22)	Étud. avec Licence	55		
PE1_4_2009 (gr.23)	Étud. avec Licence		21	
PE1_5_2009 (gr.24)	Étud. avec Licence	21		
PE1_6_2009 (gr.25)	Étud. avec Licence		17	
PE1_7_2009 (gr.26)	Étud. avec Licence		22	
PE1_8_2009 (gr.27)	Étud. avec Licence		14	
PE2_2009 (gr.28)	Fonct. Stagiaire		99	
FC_2009 (gr.29)	Enseign. Poste			10
Brunei_04_2009 (gr.30)	Enseig. collège Poste	26		
Brunei_07_2009 (gr.31)	Enseign. Elem. Poste	21		
Total	306	123	173	10

Tableau 2.1.4.3.c. : Types de public et de formation de la campagne 2009/2010

Campagne 2010-2011

2010/2011	Type de public	Cours 20h	Stage FC 17h	Anim. péda 3h
M1_1_2010 (gr.32)	Étud. Master 1 EEF	22		
M1_2_2010 (gr.33)	Étud. Master 1 EEF	18		
M1_3_2010 (gr.34)	Étud. Master 1 EEF	17		
M1_4_2010 (gr.35)	Étud. Master 1 EEF	15		
M1_5_2010_CB (gr.36)	Étud. Master 1 EEF	9		
M1_6_2010_CB (gr.37)	Étud. Master 1 EEF	26		
FC_04_2010 (gr.38)	Enseign. Elem. Poste		12	
Anim_2010 (gr.39)	Enseign. Elem. Poste			35
Total	154	107	12	35

Tableau 2.1.4.3.d. : Types de public et de formation de la campagne 2010/2011²²

Campagne 2011-2012

2011/2012	Type de public	Cours 20h	Cours 9h	Cours 3h	Cours 18h + Prép. JDS 14h	Stage FC 24h	Stage FC 6h	Anim. péda 3h
L2_Sc_2011 (gr.45)	Étud L2 et un enseig. en poste				10			
L3_Sc_2011 (gr.46)	Étud. L3				7			
L3SV_2011 (gr.47)	Étud. L3			10				
Astep_2011 (gr.50)	Étud. en licence et 3 doctorants		16					
Anim_2011 (gr. 51)	Enseign. Poste							165

22. En 2010/2012, suite à la maîtrise de la formation, les PE1 ayant réussi le concours n'ont pas pu être suivis. En 2010/2011, sur les 6 groupes de Master 1 EEF (étudiants succédant aux PE1), deux (gr. 36 et 37) ont été pris en charge par une collègue, Cécile Barbachoux, (initiales CB sur les codes des publics concernés), de même que, l'année suivante, les groupes 48 et 49 (passation d'un questionnaire) ; Le groupe 44 a été pris en charge par Laura Weiss (LW), didacticienne des sciences à l'université de Genève.

FC_Mat_2011 (gr. 52)	Enseign. Mat. Poste						24	
Anim_Mat_2011 (gr. 53)	Enseign. Mat. Poste							34
FC_Mouans_2011 (gr. 54)	Enseign. Elem. Poste					15		
Tunisie_El_2011 (gr. 55)	Enseign. Elem. Poste	14						
Tunisie_Col_2011 (gr. 56)	Enseign. Sec. Poste	18						
Total	313	32	16	10	17	15	24	199

Tableau 2.1.4.3.e. : Types de public et de formation de la campagne 2011/2012 ²²

Campagne 2012-2013

2012/2013	Type de public	Cours 3h	Cours 1h30	Cours 18h + JDS 14h	Stage FC 24h	Stage FC 12h	Anim. péda 3h
L2_Sc_2012 (gr. 57)	Étud. L2			11			
L3SV_2012 (gr. 58)	Étud. L3	10					
Anim_Mat1_2012 (gr. 59)	Ens. Mat. Poste						24
Anim_Mat2_2012 (gr. 60)	Ens. Mat. Poste						21
Anim_Mat3_2012 (gr. 61)	Ens. Mat. Poste						15
FC_Nice2_2012 (gr. 62)	Ens. Poste					12	
FC_Mouans_2012 (gr. 63)	Ens. Elem. Poste				15		
Conf_Suis_2012 (gr. 64)	Étud. Bachelor		27				
Conf_Chili_2012 (gr. 65)	Ens. Poste et Formateurs		105				
Total	240	10	132	11	15	12	60

Tableau 2.1.4.3.f. : Types de public et de formation de la campagne 2012/2013

Campagne 2013-2014

2013/2014	Type de public	Cours 3h	Cours 1h30	Cours 10h	Cours 50h	Anim. péda 3h
Conf_Suis_2014 (gr. 66)	Étud. Bachelor		66			
Anim_Mat_2013 (gr. 67)	Ens. Mat. Poste					11
M1EEF_Anc_2014 (gr. 68)	Étud. M 1 EEF			11		
L2_L3_Sc_2013 (gr. 69)	Étud. L2-L3				32	
Docteurs_2014 (70)	Docteurs en physique	14				
Total	134	14	66	11	32	11

Tableau 2.1.4.3.g. : Types de public et de formation de la campagne 2013/2014

2.1.5. Recueil de l'information

Le matériau brut dont seront extraites les données pertinentes sont les interventions et les réactions des participants lors des formations. Celles-ci sont donc enregistrées, à la fois sous forme audio et vidéo. S'y ajoutent des questionnaires spécifiques. La multiplicité des sources autorise, quand c'est possible, leur triangulation²³.

2.1.5.1. Films et enregistrements audio

Précautions

Les participants sont informés en début de formation que, sauf objection de leur part, les cours sont enregistrés pour une recherche portant sur la démarche d'investigation menée par leur formateur. Il est précisé qu'en aucun cas ces enregistrements ne seront utilisés à des fins d'évaluation et qu'ils ne seront pas diffusés hors contexte académique.

Le cas d'une opposition de principe ne s'est jamais présenté, non plus que celui du refus d'un enregistrement audio. Quelques participants²⁴ ont en revanche émis le souhait de ne pas être filmés personnellement. Ils ont alors été invités à se placer hors champ de la caméra.

Pour assurer leur anonymat, ni les enregistrements, ni *a fortiori* leurs retranscriptions, ne sont jamais associés aux noms des participants²⁵.

Modalités d'enregistrement audio :

Les cours en démarche d'investigation impliquent des travaux et échanges en petits groupes de 5-6 participants. Afin de pouvoir suivre les échanges dans tous les groupes, des enregistreurs audio sont systématiquement posés sur les tables, en pleine vue.

Les participants gardent à tout moment la possibilité d'arrêter et de relancer eux-mêmes les enregistrements.²⁶ Les enregistreurs créant un nouveau nom de fichier à chaque arrêt, il est possible lors de l'analyse des enregistrements de repérer les arrêts réalisés par les participants : ils sont exceptionnels et le plus souvent liés à une manipulation ludique de l'appareil pour tester son utilisation. Pour économiser les batteries, il est demandé aux participants

23. Michael Q. Patton, *Qualitative Research and Evaluation Methods* ; éd. Sage Publications, Thousand Oaks, Canada, pp. 555-565.

24. Toutes ces réserves sont intervenus au cours de la campagne 2010/2011, l'année de la mastérisation, dans des groupes de Master 1 Education Enseignement et Formation ; ils concernaient typiquement de l'ordre de 2-3 participants par groupe de 25.

25. A l'exception des participants des groupes 14, 45, 46, 54, 57 et 63. La durée de la formation (égale ou supérieure à 24h) et le petit nombre de participants (une dizaine) rendait la garantie de l'anonymat difficile. Non seulement dès le départ les participants ne se sont pas formalisés des conditions d'enregistrement mais rapidement ils ont facilité les modalités enregistrements (même enregistreur pour un même groupe tout au long de la formation) puis précisé que l'absence d'anonymat ne leur posait pas de problème, faisant preuve de confiance à la fois dans le dispositif et le formateur.

26. Le fonctionnement des enregistreurs est relativement élémentaire (un interrupteur *on/off* sur un côté, trois boutons *enregistrement*, *stop* et *pause* de l'autre).

d'arrêter l'enregistreur à la pause et de le relancer quand le cours recommence : aux oublis près,²⁷ les participants ont toujours joué le jeu.

Pour chaque séance, on dispose donc typiquement de 5 séries enregistrements, pour autant de groupes enregistrés, chaque typiquement répartie sur 2 ou 3 fichiers audio.

Modalités d'enregistrement vidéo :

Les tables des salles où ont lieu les cours sont regroupées par blocs de 5 pour faciliter le travail de groupe et les déplacements du formateur entre les groupes. La disposition des salles et la volonté de conserver une procédure discrète restreint le positionnement des caméras essentiellement aux coins de la salle, en pleine vue mais où elles ne gênent pas et peuvent se faire le plus facilement oublier.

A l'exception de quelques groupes (gr. 1, 2, 3, 5, 34) où il a été possible de proposer à un participant ou à un observateur extérieur de filmer, l'ensemble des films a été réalisé avec des caméras fixes posées sur trépieds.

Les deux premières années (2008-2010), considérant les limites du champ de vision de la seule caméra disponible et le déroulement des cours, le choix a été fait de la diriger vers un groupe particulier de participants. De nombreuses manipulations de matériel ayant lieu pendant les démarches d'investigation, ce choix permet de conserver des traces des interactions non seulement verbales mais gestuelles qui se produisent en cours de démarche au moins pour un groupe d'une classe. La corrélation avec les enregistrements sonores permet de retrouver à la fois les interventions du formateur et celles du groupe enregistré. Cette procédure initiale ne permet toutefois pas de suivre l'ensemble des actions, en particulier les gestes du formateur et les moments d'analyse de productions écrites où l'ensemble des participants se rassemblent autour d'un groupe de tables pour une discussion sur ces productions.

À compter de janvier 2011, la mise à disposition d'une seconde caméra avec un champ de vision plus large a permis de filmer un second groupe et le formateur, quand il était dans champ, les modalités de formation impliquant de nombreux déplacements du formateur d'un groupe à l'autre.

La qualité des images est dans ces conditions assez médiocre,²⁸ mais reste amplement suffisante pour les objectifs visés, et celle du son s'avère meilleure que celle des enregistreurs audio dédiés.

Tout comme pour les enregistrements sonores, l'expérience prouve que la présence des caméras ne perturbe en rien les discussions au sein des groupes. Avec la généralisation progressive des *smartphones* dotés de capacités vidéo, certains participants ont même commencé à se filmer et à filmer les expériences pendant les cours²⁹.

27. Oublis dans les deux sens : s'il arrive que certains enregistreurs ne soient pas relancés, il arrive également qu'ils ne soient pas arrêtés pendant une pause où les participants discutent. Cela n'a jamais soulevé de difficultés, les participants, éventuellement, venant préciser en fin de cours qu'il ne fallait pas faire attention et que l'écoute allait être « amusante ».

28. Pour des raisons d'encombrement des fichiers, on n'a le plus souvent pas fait appel aux capacités "haute définition" de la caméra 2.

29. Toutes les précisions utiles concernant l'usage de telles vidéos ont été rappelées aux participants.

Public filmé

Vingt quatre groupes ont bénéficié d'un enregistrement complet, audio et vidéo soit environ 500 heures de vidéo et 2500 heures d'enregistrement audio au total.

La plupart des enregistrements vidéos et sonores ont été réalisés au cours de formations dépassant 6h. Dans ce cadre, les participants aux formations sont volontaires et pas trop nombreux (typiquement une vingtaine) : ces conditions matérielles et psychologiques favorables permettent le plus souvent d'établir une relation de confiance suffisante pour solliciter les participants sans engendrer d'effet néfaste sur la formation.

La plupart des formations courtes de 3h ont souvent été réalisées dans des conditions matérielles ne permettant pas l'installation d'une caméra ou jugées inadaptées pour solliciter les participants (risque trop important qu'ils se perçoivent comme des "cobayes forcés" dans le cas d'animations pédagogiques obligatoires pour des enseignants en poste en particulier).

2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013
PE1 (gr. 5-9)	PE1 (gr. 20-27)	M1 (gr. 32-37)	L2 et L3_Sc (gr. 45-46)	L2_SC (gr. 57)
Stage Filé (gr. 14)	Brunei (gr. 30-31)	FC (gr. 38)	FC_Mat (gr. 52)	Anim_Mat (gr. 67)
Brunei (gr. 19)			FC_Mouans (gr. 54)	FC_Mouans (gr. 63)

Tableau 2.1.5.1. : Groupes filmés au cours de l'étude

2.1.5.2. Transcriptions

Transcription d'un enregistrement vidéo

La transcription des vidéos est réalisée en utilisant le lecteur de vidéo et d'audio *VLC*, qui présente l'avantage d'offrir une lecture au ralenti plus compatible avec le rythme dactylographique des transcriptions. Les transcriptions elles-mêmes sont réalisées sur tableur (type *Excel*). Chaque ligne correspond à une prise de parole. La première colonne précise l'auteur de la prise de parole (un codage est utilisé pour chaque participant, un "E" ou "Estelle" pour la formatrice) ; la seconde contient la prise de parole et la troisième des repères temporels permettant de retrouver facilement le passage concerné dans la vidéo.

En plus des prises de parole, certains gestes réalisés par les participants ou le formateur sont indiqués (*en italiques et entre parenthèses*) quand ils apportent des informations utiles à leur interprétation (en particulier en astronomie ou lors d'un travail sur l'air).

63	Estelle	Non. A un moment où vous avez une ombre. Donc sur votre feuille je voudrais que vous me dessiniez au moins le soleil,	00:31:24 à 00:31:58
64	A8	En fait vous voulez savoir si on va la dessiner du bon côté c'est ça ?	00:31:58 à 00:32:00
65	Estelle	Je ne sais pas, mais puisque vous me le dites c'est que vous y avez pensé !	00:32:00 à 00:32:03
66	A8	Pour dessiner une ombre, ce n'est pas facile...	00:32:19 à 00:32:21
67	Estelle	Vous pouvez faire une tache si vous voulez.	00:32:21 à 00:32:23
68	A4	Et là c'est à quelle heure ce que vous demandez ?	00:32:26 à 00:32:28
69	Estelle	Peut importe l'heure, c'est l'heure que vous voulez ! Evitez de mettre un midi au zénith.	00:32:28 à 00:32:35
70	A3	C'est où qu'on a pas d'ombre du tout c'est à l'équateur ?	00:32:41 à 00:32:44
71	Estelle	On verra ça après.	00:32:44 à 00:32:52
72	A3	Ça existe donc quelque part...	00:32:52 à 00:32:53
73	Estelle	Oui, oui ça existe. (<i>Estelle passe dans les rangs et regarde les dessins</i>). Donc maintenant on va regrouper tous vos cahiers	00:32:53 à 00:35:23
74	A3	Entre les dessins ?	00:35:23 à 00:35:24
75	Estelle	Oui. Essayez de trouver ce qui est pareil et ce qui ne l'est pas.	00:35:24 à 00:35:29
76	A9	Déjà le personnage est entre l'ombre et la source lumineuse.	00:35:29 à 00:35:35

Tableau 2.1.5.2. : Exemple de transcription

Les moments relatifs à des questions hors du champ de la formation *stricto sensu* (e.g. inscription à la cantine, discussions techniques sur les avantages comparés d'un grand cahier plutôt que d'un petit, rappels factuels des programmes, etc.) ne sont pas retranscrits, non plus que ceux d'introduction d'éléments de sciences physiques en pédagogie frontale par la formatrice. Les moment d'arrêt et de reprise de la transcription sont alors indiqués, ainsi qu'un descriptif bref du contenu non transcrit (entre parenthèses en italique).

Pour plus de lisibilité, nous avons également fait le choix d'explicitier la ponctuation et de corriger légèrement les formulations, le cas échéant, ces modifications n'ayant pas d'impact sur le contenu pertinent pour l'étude.

Corrélation d'un enregistrement vidéo avec des enregistrements audio.

A un enregistrement vidéo correspondent plusieurs enregistrements audio (un par petit groupe de participant). En plus d'identifier les périodes consacrées aux travaux en petit groupe, où les enregistrement audio sont pertinents, le visionnage de la vidéo révèle les moments où un échange potentiellement intéressant a lieu dans un groupe particulier, avec leurs références temporelles exactes.

Les moments ainsi sélectionnés sont retranscrits pour chaque enregistrement audio. Ceux des séances les plus pertinentes sont par ailleurs intégralement écoutés. Les retranscriptions des passages courts sont insérées dans la transcription vidéo en blocs identifiables précisant le fichier audio utilisé et les repères temporels utilisés. Les plus longues sont éditées dans des feuillets séparés.

Codification des transcriptions

Afin de ranger les transcriptions, un codage est utilisé : le nom du fichier de transcription comporte le numéro du fichier vidéo d'origine, la date d'enregistrement de la vidéo, le type de public et le groupe tel que défini précédemment.

Par exemple : Tr_358_12_04_2010_PE1_gr2 : transcription de la vidéo 00358. mp4 enregistrée le 12 avril 2010 avec des PE1, identifiés comme groupe 2 dans l'étude.

2.1.5.3. Questionnaires

Contexte

La passation des questionnaires est réalisée au cours de séances de formation ou au cours de conférences. Ces conditions contraignent fortement la durée des réponses, nécessairement limitée à une dizaine de minutes au plus.

Une autre contrainte concerne la formulation des questions : elles doivent participer de la formation ou, *a minima*, donner envie d'y répondre aux participants sollicités (une façon d'y parvenir consiste à expliciter l'enjeu du travail de réflexion demandé et à utiliser des questions relatives à la pratique professionnelle).

Modalités

Les participants sont informés que les questionnaires sont traités dans le cadre d'une recherche en didactique des sciences menée par leur formatrice. Tout est fait pour mettre les participants à l'aise, leurs réponses étant données sur la base du volontariat. Lorsque les participants éprouvent des difficultés à comprendre les questions, elles sont reformulées au vol ou des précisions sont apportées. Le cas échéant, on les rassure également, en particulier à propos des questionnaires portant sur la scientificité, sur la "facilité" des questions et le fait qu'il n'existe pas de "bonne réponse".

Pour éviter de donner un aspect trop formel à l'exercice, il leur est le plus souvent demandé de répondre sur feuille libre aux questions formulées oralement par le formateur. D'un point de vue pratique, l'absence de distribution d'un questionnaire distribué se traduit souvent par le « don » de feuilles ou leur partage entre participants, le prêt de crayons, etc. Même si elle complique un peu le traitement des données, cette technique³⁰ contribue à détendre l'atmosphère (tout comme les remarques taquines sur les participants qui viennent, typiquement, en animation pédagogique les mains dans les poches). Suffisamment de temps leur est donné pour répondre aux questionnaires. Une fois que les participants ont achevé de les rédiger, les feuilles sont rassemblées par les participants (ce qui permet à ceux qui ne désirent pas le rendre de s'en abstenir discrètement). D'une façon générale, les participants se prêtent de bonne grâce à l'exercice.

L'anonymat des questionnaires est garanti. À aucun moment il n'est demandé aux participants d'indiquer leur nom ; les questionnaires incluent cependant des demandes d'informations personnelles (typiquement âge, sexe, niveau d'étude, classe enseignée, ancienneté dans le poste). Dans le cas où un suivi des participants sur plusieurs questionnaires est souhaité, les informations personnelles fournies permettent par recoupement de regrouper les questionnaires relatifs à une même personne.

Cas des participants doublants

Il arrive que certains participants aient participé antérieurement à une formation incluse dans l'étude. Il leur est systématiquement demandé de le

30. Que peuvent éventuellement renforcer des remarques taquines, par exemple, sur les participants qui « viennent en animation pédagogique les mains dans les poches ».

préciser dans leurs questionnaires en y mettant un signe distinctif et il en est tenu compte pour l'analyse des résultats.

Type de questionnaire

Pour favoriser l'expression de conceptions et de représentations minoritaires, les questions sont, sauf exception, de type "ouvert" (e.g. « *Pour vous, qu'est-ce que la science ?* »), plutôt que "fermé" (e.g. « *Les théories scientifiques sont cumulatives : il y a moins de choses à découvrir aujourd'hui qu'il y a un siècle. Êtes-vous d'accord avec cette proposition ?* »). Ces dernières présentent en outre un risque d'orientation des réponses, identifié en particulier par l'équipe de N.G. Lederman dans le même contexte de questionnaires sur la nature de la science³¹.

Le choix de questionnaires faiblement perturbants, d'une durée inférieure à 10 mn, restreint le nombre d'items à trois ou quatre au maximum, par opposition aux questionnaires longs (typ. 40 - 60 mn) employés dans la plupart des études anglo-saxonnes.

Style

La formulation des fait l'objet d'une vigilance particulière et de précautions inspirées des procédures utilisées tant dans les sciences sociales³² que dans le milieu médical³³ pour limiter les risques de biais méthodologiques (e.g. questions suggestives ou orientées). Les techniques du marketing³⁴ fournissent également des conseils utiles (clarté, simplicité des formulations avec absence de double-négations, choix d'un vocabulaire univoque et adapté au public, test du questionnaire etc.).

Les questionnaires connaissent en général au moins deux versions. Un premier jeu de questions est testé auprès d'un groupe d'une vingtaine de participants au minimum. Leurs réactions pendant la passation du questionnaire (e.g. demandes de reformulation) puis les réponses données donnent le cas échéant lieu à une reformulation des questions problématiques.

2.1.6. Traitement de l'information

Le premier enjeu du traitement de l'information consiste, suivant les cas, en l'identification des conceptions initiales, des représentations ou des critères de scientificité manifestés dans un groupe donné. Un second enjeu est la caractérisation simplifiée des individus. Des méthodes qualitatives aussi bien que quantitatives sont convoquées pour atteindre ces objectifs.

31. Norman G. Lederman, Fouad Abd-El-Khalick, Randy L. Bell et Renée S. Schwartz, « Views of Nature of Science Questionnaire : Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 39, n° 6, 2002, pp. 497-521.

32. Voir par exemple l'entrée "Questionnaire" de *The SAGE encyclopedia of Social Science research Methods*, vol.1, eds. Michael S. Lewis-Beck, Alan Bryman et Tin Futing Liao, éd. SAGE, U.S.A., 2004, pp. 902-903.

33. Agnès Bouletreau, Dominique Chouanière, Pascal Wild et Jean-Marc Fontana, *Concevoir, traduire et valider un questionnaire à propos d'un exemple, EUROQUEST*, n°178, éd. INRS, Paris, mai 1999.

Accessible en ligne sur le site de l'INIST (consulté août 2014) : http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/1730/INRS_178.pdf

34. Voir par exemple le site de Survey Magazine (consulté août 2014) : <http://www.surveystore.info/NSarticle/enquete-par-questionnaire.asp>

2.1.6.1. Profils épistémologiques

Le profilage épistémologique est un outil introduit par Gaston Bachelard pour rendre compte de la complexité des relations d'un sujet à un concept scientifique. Celles-ci sont rarement réductibles à une réponse "purement empiriste" ou "purement rationaliste", ou à un simple "réalisme naïf" etc.³⁵ mais une combinaison de plusieurs types de réponses, en proportions variables selon le concept considéré. Un même individu présente donc en général des profils épistémologiques différents pour différents concepts.

Nous avons adapté cet outil à la description des relations d'un sujet non plus à un concept scientifique, mais à celui de science lui-même, ou plutôt à la "nature de la science" (NOS, dans le sens où l'entendent les anglo-saxons). Au-delà des postures de type empiriste et rationaliste, qu'on rencontre également, en proportion variables, chez les scientifiques, on peut également identifier chez des sujets non experts des postures relevant du réalisme naïf, mais aussi des mises à distance par des stratégies autoréférentes (e.g. « *La science, c'est ce que font les scientifiques* »).

On évalue donc le poids relatif de ces différentes composantes telles qu'elles se manifestent dans un questionnaire. Compte tenu du caractère arbitraire de cette évaluation, les seules gradations considérées sont composante pratiquement absente (0 %) ou très dominante (100 %), deux (resp. trois, quatre) composantes de poids égal (50 %, resp. 33%, 25 %), deux composantes dont l'une majoritaire et l'autre minoritaire (67% vs. 33%), la somme totale des poids relatifs étant normalisée (100 %), soit au plus 26 catégories possibles (et concrètement rarement plus d'une demi-douzaine).

Un sujet présentant une combinaison de postures relevant de l'empirisme et du réalisme naïf, en proportions comparables, mais sans contribution notable du rationalisme ni autoréférence, pourra donc être caractérisé par un profil du type (Fig. 2.1.6.1).

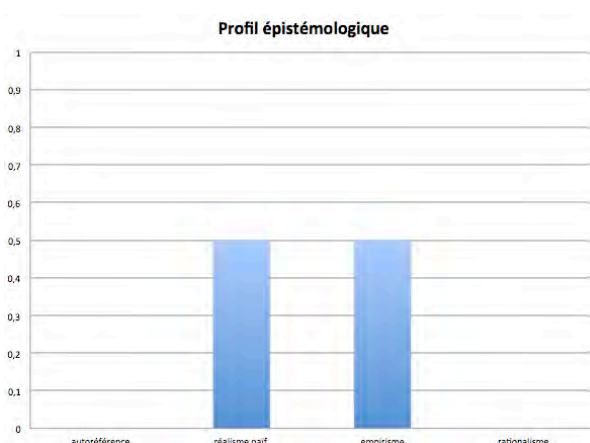


Figure 2.1.6.1. : Exemple de profil épistémologique

35. Voir partie 6.2.1.1.

Calibrage

Un premier lot de profils est tout d'abord établi à partir de vingt questionnaires. Les profils sont dans un premier temps réalisés en commun par deux chercheurs afin d'harmoniser la procédure de profilage.

Si un questionnaire ne fournit pas d'informations suffisantes pour permettre l'établissement d'un profil, il est provisoirement écarté. Une proportion trop importante de questionnaires non profilables (typiquement supérieur à 3 sur 20) impose une révision des catégories.

Dix nouveaux profils sont ensuite élaborés indépendamment par les deux mêmes chercheurs et comparés. En cas de désaccord, une discussion s'engage afin d'obtenir un consensus. Cette discussion conduit à affiner la procédure de catégorisation. Un nouveau jeu de dix profils est réalisé dans les mêmes conditions pour contrôler la fiabilité de la procédure. L'opération est renouvelée jusqu'à la convergence des profils établis par les deux chercheurs. Chacun des questionnaires restants est ensuite traité par un seul chercheur. En cas de doute sur le profil d'un questionnaire, le profilage est réalisé en commun.

2.1.6.2. Identification d'éléments d'intérêt épistémologique

Nature des éléments recherchés

On cherche dans les transcriptions des éléments d'intérêt épistémologique, révélateurs de critères de scientificité explicites ou implicites, de conceptions initiales, d'obstacles épistémologiques, etc. Ceux-ci peuvent indifféremment se présenter sous la forme d'éléments de discours de longueur variable, de quelques mots à la phrase complète et même au court paragraphe, voire à une combinaison complexe de discours et d'éléments non verbaux (gestes et mimiques dans le cadre d'une communication ostensive-inférentielle³⁶), indiqués dans la transcription ou observés lors d'un retour sur la vidéo après identification d'un échange pertinent.

Difficultés sémantiques

L'objectif n'est pas seulement d'identifier ce qui est dit mais aussi, voire surtout, ce qui est porteur de sens. En pratique, au contraire de ce que l'on peut rencontrer dans un cadre de pédagogie frontale, la démarche d'investigation amène les participants à s'exprimer librement sur des représentations naissantes, ou des argumentaires encore fragiles, la formalisation du discours n'intervenant que dans un second temps, dans une phase d'institutionnalisation des résultats.

Or c'est précisément dans ces temps d'expression informelle, où "les mots pour les dire" n'existent pas encore que se manifestent le plus souvent les conceptions personnelles, ou les obstacles épistémologiques. On ne doit donc pas se contenter d'évaluer ce qui est effectivement dit (ce qui se ramène souvent en pratique au constat d'une formulation "correcte" ou "incorrecte",

36. Yves Bardière, « Approche linguistique, fictionnelle et didactique de la pragmatique », in *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*, dir. Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle, éd. Somnium, 2013, pp. 199-231.

au regard d'un résultat attendu), mais tenter d'identifier *l'intention* du locuteur. Il s'agit d'un problème classique — mais pas moins difficile pour autant — de *pragmatique linguistique*, l'analyse n'intervenant qu'après que le matériau brut a été enrichi d'informations contextuelles.³⁷

Une telle lecture repose sur l'*encyclopédie* personnelle du chercheur, qui doit associer à tous les concepts intervenants dans la formation non seulement leurs référents consensuels (du "Monde 3"), mais également toutes sortes de représentations fautives et d'obstacles épistémologiques associés. Elle suppose donc une bonne connaissance du contexte et du public,³⁸ et une solide intuition de formateur, qu'autorise en particulier la posture de praticien-chercheur.

Procédure d'identification

Par ailleurs, même en faisant abstraction des difficultés d'expression, il ne semble malheureusement pas exister de procédure générale d'identification systématique³⁹ pour des analyses qualitatives. Nous adopterons donc une stratégie de lecture multiple fréquemment utilisée dans des travaux exploratoires de didactique des sciences lorsqu'on cherche à identifier des conceptions ou des justifications⁴⁰.

Lectures globales, lectures locales

Une première lecture de la transcription permet d'en dégager la structure argumentative et d'en repérer les événements⁴¹ intéressants d'un point de vue épistémologique. À la lumière de cette compréhension globale de l'échange, une nouvelle lecture du déroulement de chaque événement permet de saisir le processus à l'œuvre et de dégager l'enjeu (ou les enjeux, auquel cas il peut s'avérer utile de décomposer l'événement original en plusieurs événements élémentaires).

On reconstruit alors l'articulation, parfois implicite,⁴² des différentes prises de parole dans l'échange. Les éléments d'intérêt épistémologiques peuvent être

37. « Le traitement est accompli seulement lorsqu'on a obtenu la forme propositionnelle de l'énoncé, c'est à dire une fois que la forme logique a été enrichie par les informations contextuelles. L'interprétation de l'énoncé se fait par des processus inférentiels qui ont pour prémisses la forme logique de l'énoncé et le contexte », Yves Bardière, « Approche linguistique, fictionnelle et didactique de la pragmatique », op. cit., p.213. Voir aussi état des lieux, § 2.2.2.

38. Cette connaissance peut avoir été acquise par l'expérience professionnelle, par la lecture de la littérature de recherche sur le sujet, par des échanges avec des collègues spécialistes, etc.

39. C'est également la conclusion de Joséphine Mukumurera, France Lacourse et Yves Couturier dans leur article « Des avancées en analyse qualitative : pour une transparence et une systématisation des pratiques », *Recherches Qualitatives*, vol. 26, n° 1, 2006, pp. 110-138. Accessible sur le site de la revue (consulté août 2014) : www.recherche-qualitative.qc.ca/revue.html

40. Voir par exemple André Giordan et Gérard De Vecchi, *Les Origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, éd. Delachaux et Niestlé, 1987 ; Laurence Viennot, *Raisonnement en physique. La part du sens commun*, éd. De Boeck, 1996 ; Judith A. Morrison et Norman G. Lederman, « Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions », *Science Education*, 2003, 87 (6), pp. 849-867 ; Ji Shen et Jere Confrey, « Justifying Alternative Models in Learning Astronomy : a study of K-8 science teachers' understanding of frames of reference », *International Journal of Science Education*, 2010, 32 (1), pp. 1-29.

41. En toute rigueur, il s'agit de traces des événements plutôt que des événements eux-mêmes, l'enregistrement vidéo et sa retranscription ne permettant pas d'accéder à la totalité de l'événement.

42. Quoique des marqueurs logiques explicites (e.g. « parce que ») se manifestent aussi fréquemment dans les transcriptions.

identifiés. Ils sont saisis dans un tableur de type *Excel*, avec les informations sur son origine (questionnaire ou transcription d'origine etc.).

Pour pallier le risque de surinterprétation, on procède à une troisième lecture de l'événement dans son ensemble, qu'on confronte aux éléments qui en ont été extraits.

Ce travail de repérage est facilité par la connaissance préalable des types d'éléments susceptibles d'apparaître. Celle-ci guide la recherche et fournit un cadre de référence, mais il convient d'être vigilant à ne pas lui permettre d'occulter des éléments inattendus.

Réduction

Lorsque les nuances fines apparaissent peu pertinentes au regard des questions de recherche, les éléments similaires sont regroupés. Les renseignements sur l'origine des différents éléments sont conservés pour permettre une vérification ultérieure des regroupements réalisés. Ces regroupements sont par surcroît discutés avec des physiciens pour identifier d'éventuelles nuances significatives, parfois implicites, non anticipées par le praticien-chercheur.⁴³

2.1.6.3. Sélection des transcriptions

Au total, environ 170 h de vidéos (sur environ 500h d'enregistrement) ont effectivement été retranscrites avec les enregistrements audio associés. La sélection des séquences retranscrites s'est opérée d'une part sur une base opportuniste, d'autre part selon des critères systématiques.

Sélection opportuniste

L'un des avantages de la position de praticien-chercheur est la possibilité d'identifier, en temps réel, des moments de formation pertinents du point de vue de la recherche, et de les réserver pour transcription ultérieure. Inversement, lorsqu'un choix arbitraire s'impose, elle permet d'éviter (sauf approche systématique, cf. *infra*) de retranscrire des passages *a priori* moins intéressants.

Sélection systématique

Plus systématiquement, ont été retranscrits des blocs complets de formation, avec au moins un exemple de chaque approche pédagogique des éléments de scientificité et au moins une formation par année universitaire, soit formations entièrement transcrites :

- “au fil de la démarche d'investigation” : un cours complet de préparation au concours 2009/2010 (gr. 21) et une formation continue de 18h (gr. 38)
- “retour métacognitif” : un cours de licence de 18h en 2011/2012 (gr. 45)
- “sondes épistémologiques” : une formation continue de 24h en 2011/2012 (gr. 54)

43. C'est en particulier le cas quand il s'agit d'explicitier des sélections reposant sur des connaissances tacites (Michael Polanyi, *The Tacit Dimension*, éd. University of Chicago Press, 1966).

- “introduction explicite des critères de scientificité” : une animation pédagogique maternelle de 3h (gr. 67) et une formation continue maternelle de 6h (gr. 42).

2.1.6.4. Analyse des transcriptions

Pour chaque formation transcrite, un synopsis⁴⁴ rapide du déroulement permet la comparaison/mise en parallèle de différentes transcriptions.

Dans un premier temps, on repère les éléments recherchés dans les transcriptions (cf. procédure en 2.1.5.2.). On les extrait et on les classe par ordre chronologique d'apparition dans un fichier type tableur (chaque extrait est placé dans une ligne différente) et on conserve les informations relatives à leur provenance (formateur/participant, etc.). Les éléments recherchés associés à chaque extrait sont listés en vis à vis.

Selon les besoins, différentes opérations complémentaires peuvent alors être réalisées :

- regroupement des différents éléments qui apparaissent sur des séances similaires,
- comparaison des éléments formulés par des publics différents,
- comptabilisation du nombre d'occurrence d'un élément pour des publics différents,
- comparaison des éléments utilisés par des participants en début et fin de formation,
- etc.

2.1.6.5. Traitement des questionnaires

La procédure utilisée pour traiter les réponses à un questionnaire ouvert est similaire à celle mise en œuvre pour transcription (§ 2.1.5.2.). Lorsqu'une question fermée s'avère utile, elle est systématiquement conçue pour donner lieu à un traitement statistique simple des données recherchées (décompte des différentes réponses, calcul de pourcentages, etc.).

2.1.7. Représentativité du public

L'étude concerne au total environ 1900 participants. Le public concerné est assez hétérogène et nous le décomposons ici en trois blocs identifiables de population à savoir étudiants hors IUFM, élèves étudiants de l'IUFM préparant le concours et enseignants en poste.

Les didacticiens des sciences constatent souvent un faible impact de l'âge et de l'origine des sujets sur leurs conceptions initiales et obstacles épistémologiques⁴⁵. La généralité des résultats obtenus sera discutée au cas par cas. Les chances qu'une conception ou qu'un obstacle particuliers soient représentés dans le

44. La plupart des séances de préparation au concours ou de formation continue sur un contenu donné respectant une même progression (aux modifications apportées volontairement par le formateur et à l'adaptation au public près), les synopsis de plusieurs transcriptions peuvent être très proches.

45. « Depuis une quinzaine d'années, la recherche en didactique a montré à quel point les représentations des élèves résistent aux efforts d'enseignement. Ces représentations non seulement pré-existent, mais elles tendent à accompagner l'apprentissage d'une façon diachronique à la scolarité et peuvent perdurer, presque intactes jusqu'à son terme... et même bien au-delà. » Jean-Pierre Astolfi, *L'école pour apprendre*, éd. ESF, 1992.

public de l'étude sont d'autant meilleures que celui-ci est assez hétérogène, avec des participants de tous les âges et de tous les niveaux scientifiques⁴⁶.

Sous réserve de biais systématique, on peut donc considérer qu'un groupe de 15 ou 20 personnes (i.e. la plupart de ceux étudiés), est statistiquement représentatif, au sens où la probabilité qu'y soit représentée une conception dont la prévalence est de l'ordre de 10% dans la population adulte est supérieure à 80%, et à 99,5% dans un échantillon de 50 personnes (soit 3 groupes). Pour une prévalence de 1% seulement, les chances qu'elles soient représentées dans un public de 700 personnes sont supérieures à 99,9%.

Seront toutefois *a priori* considérés comme non représentatifs les groupes a/ composés d'étudiants ou de professionnels ayant validé une formation supérieure en sciences (e.g. : étudiants préparant un CAPES de physique, gr. 42-44) et 2/ les groupes de "redoublants", ayant déjà suivi une formation en sciences avec le même formateur.

Enseignants en poste

Plus de 700 enseignants du primaire ont participé à cette étude, soit un peu plus de 10% de la population des professeurs des écoles des Alpes-Maritimes (environ 6000 enseignants) et 0,2 % de celle des professeurs des écoles français (370 000⁴⁷).

Comme souvent en matière de sciences humaines, cet échantillon est à la fois suffisant pour s'autoriser, sous réserve de biais de représentativité, à lui reconnaître une valeur statistique, aussi bien du point de vue démographique que sociologique, et très loin des "grands nombres" de la physique. Toute généralisation des résultats obtenus ne pourra donc typiquement revendiquer, au mieux, qu'une précision quantitative de l'ordre de 5 %⁴⁸.

Animations pédagogiques

Le public des animations pédagogiques est *a priori* représentatif de la population des enseignants du département. Le nombre de circonscriptions (12/17) et de participants impliqués dans l'étude, menée sur plusieurs années, tend en effet à lisser les différences engendrées par les contextes de formation⁴⁹ et on peut considérer qu'il n'y a pas de biais systématique.

Formation continue longue

La représentativité y est moins évidente, les participants ayant fait le choix de se former sur l'enseignement des sciences plutôt que dans d'autres disciplines et une sélection des candidatures en fonction par exemple de l'ancienneté étant opérée par l'inspection académique (un cas extrême est celui du groupe 42,

46. Avec, paradoxalement, une surreprésentation des très hauts niveaux, les quelques scientifiques professionnels considérés comme témoins étant proportionnellement plus nombreux que dans la population générale.

47. D'après les données du site du ministère de l'éducation nationale, « L'Éducation nationale en chiffres », année 2012/2013. (consulté août 2014) :

<http://www.education.gouv.fr/cid57111/l-education-nationale-en-chiffres.html>

48. En faisant l'hypothèse d'une loi normale, toute variation inférieure à $\sqrt{n}/n$ n'est typiquement pas discernable d'une fluctuation standard et donc non significative. Soit pour $N=500$ une variation de 4,4% que nous arrondissons à 5% par sécurité.

49. Si, dans la plupart des cas, les choix de formation relèvent de l'IEN, certaines animations sont réservées aux enseignants d'un cycle donné ou sont choisies par les enseignants.

formation continue maternelle : moyenne d'âge des participants de 48 ans et ancienneté de 25 années). La prudence s'impose donc quand il s'agit de comparer des mesures obtenus avec des petits groupes de formation continue (typ. 20 personnes) à une moyenne de référence établie sur 500 personnes.

Etudiants de l'IUFM/ESPE

L'ensemble de la population, ou presque, a participé à l'étude. La question de la représentativité ne se pose donc pas pour la population des étudiants de l'IUFM/ESPE de Nice. On peut cependant s'interroger sur la possibilité de généraliser les mesures réalisées à des populations étudiantes équivalentes hors du département. Il nous faut à cet égard rester extrêmement prudent, la composition de notre population variant déjà significativement d'une année (d'une réforme) à l'autre. En admettant même que les étudiants nicois soient représentatifs d'une population supposée homogène, ce qui est une hypothèse forte, on ne peut espérer atteindre une précision supérieure à 5%, en s'appuyant sur des données obtenues avec les 500 étudiants participants. Il est toujours possible de comparer des mesures mais d'un point de vue statistique, il faut une variation supérieure 5% pour sortir des fluctuations standard.

Etudiants hors IUFM/ESPE

La nature du cours impacte significativement la composition des groupes d'étudiants (e.g. proportion filles/garçons dans un cours de découverte des métiers éducatifs ou d'histoire des sciences, étudiants venant de parcours différents ou tous issus de la faculté des sciences).

Loyauté des participants

Nous faisons l'hypothèse que les participants s'impliquent normalement dans les formations proposées et que, lorsqu'ils acceptent de répondre aux questions posées ils le font en toute sincérité. La garantie de leur anonymat et l'absence d'évaluation personnelle apparaissent comme des éléments essentiels pour s'assurer de leur participation.

Dans les très rares cas⁵⁰ où la relation de confiance avec le formateur a pu être perçue comme délicate, les formations n'ont pas été enregistrées, et n'ont donc fait l'objet d'aucun traitement *a posteriori*.

2.1.8. Questionnaires portant sur la scientificité

2.1.8.1. Questionnaires généraux

En fonction des circonstances, du public et du temps disponible, différentes questions ont été soumises aux participants. On distingue les questionnaires généraux comportant typiquement trois ou quatre questions, de questionnaires d'accompagnement spécifiques posés par exemple en cours de séance et en lien avec le contenu travaillé. En fonction des questions posées, on a au total employé 14 questionnaires différents, eux-mêmes sujets à des

50. Cela s'est produit seulement deux fois au cours de l'étude, dans des situations de formation continue longues où les enseignants étaient désignés par leur inspecteur pour participer à une formation non souhaitée. Ainsi, certains enseignants se sont présentés en indiquant qu'ils étaient là « parce qu'on considérait qu'ils étaient nuls » : un enregistrement de la formation eût été très malvenu.

variations de formulation des questions. Lorsqu'un second questionnaire y est associé (e.g. plus tard lors du même cours), leur couplage est "post".

Les questions posées ont pour objectif d'engager les participants dans une réflexion sur la nature de la science en les invitant à expliciter leur point de vue. Elles sont très générales pour éviter d'influencer les réponses. Plusieurs angles d'attaque sont proposés (écrit/discours/approche scientifique, dans et hors du contexte scolaire) qui offrent autant de pistes de réflexion.

Leurs formulations se sont souvent affinées au cours de l'étude.

1. Quel est votre relation/rapport aux sciences ? / Racontez un événement marquant d'un cours de science.
2. C'est quoi les sciences pour vous ? Comment définir la science ? Qu'est-ce que la science ?
3. A votre avis, qu'est-ce qui permet de distinguer une approche/démarche scientifique d'une approche/ démarche qui ne l'est pas ? Qu'est-ce qui caractérise la démarche scientifique ? Selon vous, de quelles compétences avez-vous besoin si vous souhaitez mettre en place des activités de nature scientifique ?
4. D'après vous, qu'est-ce qu'un fait scientifique ?
5. Comment savoir si quelque chose est scientifique ? Comment savez-vous quand quelque chose est scientifique ? Selon vous, qu'est-ce qui permet de distinguer quelque chose de scientifique (un exposé, un discours, un article dans une revue...) de quelque chose qui ne l'est pas (un discours politique par exemple) ?
6. Quand peut-on qualifier un énoncé de scientifique ? Comment faites-vous pour distinguer un discours scientifique d'un discours qui ne l'est pas ?
7. Comment reconnaître un document scientifique ? Qu'est-ce qui distingue un document scientifique d'un document qui ne l'est pas ? Quels critères utilisez-vous pour identifier un document comme étant scientifique (par exemple en physique) ? (autrement dit, comment reconnaissez-vous qu'un document est scientifique (ou pas) ?) Comment reconnaissez-vous qu'un document, traitant par exemple de physique, est ou non scientifique ? Quels critères appliquez-vous pour cela ? Quand peut-on qualifier un énoncé de scientifique ?
8. Qu'est-ce qu'un scientifique ? Un scientifique c'est quelqu'un qui... Qu'est-ce qu'un physicien ? Comment reconnaître un scientifique ? Qu'est-ce qui différencie un scientifique d'un non-scientifique ?
9. Comment faites-vous pour valider une expérience ? Quels sont les critères pour une expérience valide ?
10. Que veut dire enseigner les sciences pour vous ? Qu'est-ce que cela signifie pour vous « faire des sciences » avec vos élèves de maternelle ?
11. Dans la classe, comment savez-vous que vous faites des sciences ? En classe, qu'est-ce qui distingue les cours où vous faites des sciences des autres cours ? Comment identifiez-vous les moments où vous faites des sciences avec vos élèves ? Comment enseigner les sciences à l'école ?
12. Comment savez-vous quand un enseignant de maternelle fait des sciences ou pas ?
13. Selon vous, cela a-t-il un sens de parler de « science » à propos d'activités scolaires menées avec les tout petits ? A partir de quel âge sinon, typiquement ?
14. Pourquoi enseigner les sciences ?
15. Que souhaitez-vous transmettre à vos élèves sur ce qu'est la science ? Qu'aimeriez-vous que vos élèves répondent si on leur demandait ce que c'est que faire des sciences pour eux ? Une personne extérieure à la classe interroge un de vos élèves : « Comment fais-tu pour savoir si le document que tu lis, la personne que tu entends ou ce que tu regardes à la télé est scientifique ? » Qu'aimeriez-vous qu'il puisse répondre ? Vos élèves vont faire un jardin des sciences, ont et vont pratiquer avec vous et leurs camarades des activités scientifiques. Qu'aimeriez-vous qu'ils soient capables de répondre à la question ouverte : pour toi, c'est quoi la science ?
16. Avez-vous déjà mené des D.I. et si oui, lesquelles ?
17. Votre pratique personnelle de la démarche d'investigation a-t-elle changé votre

compréhension de la méthode scientifique ? En quoi ? Est-ce que ce que nous avons fait a changé votre vision des sciences ? Est-ce que ce que nous avons fait a changé votre vision de l'enseignement des sciences ? Cela a-t-il changé votre vision de ce qu'il faut transmettre aux enfants sur la nature de la science ? Ce que l'on a fait ensemble vous aide-t-il à distinguer ce qui relève de la science de ce qui n'en relève pas ? Plus précisément, quels critères précis emploieriez-vous pour qualifier le travail des enfants de scientifique ou pas ? Est-ce que ce que nous avons fait a changé votre vision des sciences ? En quoi ? Si non, est-ce que cela a renforcé votre vision de la science ? En quoi ?
18. Est-ce que ce que nous avons fait aujourd'hui est scientifique ou pas ? Pourquoi ? Si cela ne vous a pas paru scientifique, comment aurait-on pu le rendre plus scientifique ? Est-ce que l'un des approches était plus scientifique ? Si vous considérez que c'est partiellement scientifique, quelles parties l'étaient et lesquelles ne l'étaient pas
19. Après cette animation, que changeriez-vous ? Qu'est-ce que cette animation pédagogique vous a apporté ?
20. Qu'avez-vous appris aujourd'hui ?
21. Par quels sentiments êtes-vous passés ?
22. Qu'est-ce qui a été utile ?
23. Qu'est-ce que je vais réutiliser dans la classe ?
24. Qu'est-ce qu'il manque ?
25a. Pensez-vous que les critères de scientificité présentés vont être utiles dans votre enseignement ? Si oui, en quoi ?
25b. Classez les CS du plus au moins facile à mettre en œuvre dans la classe.
25c. Classez les CS du plus au moins important pour vous

Tableau 2.1.8.1. : Liste des questions utilisées pour identification des CS

2.1.8.2. Questionnaires spécifiques

Travail sur la schématisation et les définitions

Des questionnaires ponctuels sont utilisés, par écrit ou oralement (discussion entre participants), à la suite d'un travail donnant lieu à l'élaboration d'une liste de phrases ou de schémas (gp. 20-27, 30, 32-37, 45 & 57). Typiquement, chaque participant d'une démarche d'investigation formule une définition d'un mot puis les définitions sont écrites au tableau. Leur scientificité est évaluée individuellement puis collectivement à l'aide des questions :

Quelle est la phrase (le schéma) la plus scientifique, pourquoi ?

Quelle est la phrase (le schéma) la moins scientifique, pourquoi ?

Analyse d'un événement historique

Un questionnaire reposant sur l'analyse d'un événement historique a été proposé suite à la lecture de la lettre de M. Périer à Blaise Pascal relatant l'expérience du Puy-de-Dôme la fois en début et en fin de formation aux groupes 55, 56, 57 et 70.

Formuler la question à laquelle M. Périer cherche à répondre

Souligner par un trait de couleur dans le texte les éléments évocateurs d'une bonne pratique scientifique (une même couleur pour plusieurs éléments relevant d'une même bonne pratique)

Préciser pour chaque couleur utilisée la pratique correspondante ET la décrire en termes plus généraux

Qu'aimeriez-vous qu'il puisse répondre ?

Analyse de démarches d'investigation

Enfin, un questionnaire a été élaboré en lien avec des démarches d'investigation menées en cours de formation. Il propose aux participants des situations dont il faut comparer la scientificité et nécessite un temps de passation long (environ 30 minutes). Il a été utilisé avec les groupes 38 et 45.

Question posée : Approche la plus scientifique : A ☐ , B ☐ Pas de différence ☐ Justifiez votre réponse :

1/ Lors d'un travail sur la fusion de la glace, on propose aux élèves de mesurer l'évolution au cours du temps de la température du contenu d'un récipient

A. Les élèves viennent mesurer la température toutes les 2 minutes et à tour de rôle. La mise en commun des résultats montre que la température reste constante pendant un temps assez long.

B. Différents groupes font indépendamment les mêmes mesures et observent tous que pendant un temps assez long, la température reste constante

2/ Lors d'un travail sur l'air, les élèves ont compris que pour faire monter ou descendre un bouchon emprisonné dans un pot en verre sous l'eau, il fallait enlever ou ajouter de l'air dans celui-ci.

A. L'enseignant demande alors aux élèves ce qui se passe si l'on remplace le pot par un autre récipient (un verre en plastique par exemple).

B. L'enseignant formule la réponse avec ses élèves et passe à la suite.

3/ Lors d'un travail sur les ombres, un enseignant propose à sa classe de comprendre ce qui se passe sur un écran quand un objet est éclairé par deux lampes couvertes de papier filtre, rouge pour l'une, vert pour l'autre. Les élèves observent une ombre rouge et une autre verte sur un fond jaune. En fin de démarche, les élèves expliquent que là où on voit l'ombre rouge, la « lumière verte » n'arrive pas sur l'écran et que là où on voit l'ombre verte, c'est la « lumière rouge » qui n'arrive pas sur l'écran alors qu'ailleurs l'écran est éclairé par les deux lampes.

A. Les élèves formulent leur réponse et l'enseignant leur demande ce qui se passe si on remplace le filtre vert par un bleu.

B. Les élèves formulent leur réponse et l'enseignant leur demande ce qui se passe si l'on inverse la position des deux lampes

4/ Lors d'un travail sur les sabliers, les élèves se demandent ce qui permet d'en faire varier la durée d'écoulement et proposent de modifier la quantité de sable ou le diamètre du trou. Pour un même diamètre du trou, ils mettent en évidence que plus on verse de sable, plus il faut de temps pour que le sablier s'arrête de couler.

A. On en conclut que la quantité de matière influe sur la durée d'écoulement.

B. L'enseignant demande ce qui se passe si on remplace le sable par du sel ou de la semoule fine.

5/ Lors d'un travail sur la dissolution, les élèves se demandent si l'on peut dissoudre autant de sel qu'on le souhaite dans de l'eau.

A. Chaque groupe verse progressivement du sel dans un verre d'eau et constate qu'après en avoir versé une certaine quantité le sel ne se dissout plus.

B. Chaque groupe verse progressivement du sel dans un verre contenant le même volume d'eau et constate qu'après en avoir versé une quantité similaire le sel ne se dissout plus.

6/ Lors d'un travail sur les équilibres, les élèves ont trouvé que pour équilibrer horizontalement une règle posée sur une gomme avec deux poids différents (identiques pour tous les groupes), il fallait que le poids le plus lourd soit le plus près de l'axe.

A. Ils essaient alors tous avec de nouveaux objets de poids différents et concluent que quelles que soient les masses utilisées, il faut toujours que la masse la plus lourde soit la plus proche de l'axe pour avoir un équilibre horizontal.

B. Ils remplacent la règle par une tige suspendue en son centre par une ficelle et concluent qu'il faut comme avec la règle que le poids le plus lourd soit accroché plus près de l'axe pour avoir un équilibre horizontal de la tige.

7/ Lors d'un travail sur les éclipses, les élèves ont expliqué le phénomène en représentant le Soleil par la lumière d'un rétroprojecteur, la Terre et la Lune par deux boules de polystyrène. L'éclipse de Lune se produit quand celle-ci passe dans l'ombre de la Terre : elle n'est alors plus éclairée par le Soleil et on ne la voit plus de la Terre. Un élève ramène alors des images où l'on voit la Lune, très rouge, dans le ciel pendant l'éclipse. Les élèves se demandent comment c'est possible.

A. L'enseignant explique que l'atmosphère peut modifier la trajectoire de la lumière en provenance du Soleil et que ce mécanisme est responsable du phénomène observé.

B. L'enseignant revient sur la façon dont les élèves sont arrivés à leur conclusion. Ils ont utilisés des boules de polystyrène pour la Terre et la Lune : cette façon de faire est peut-être trop simple pour expliquer l'ensemble des phénomènes. Il indique alors que la Terre est entourée d'une couche d'air, l'atmosphère, qui peut modifier la trajectoire de la lumière en provenance du Soleil. Les boules de polystyrène ne la prennent pas en compte.

8/ Lors d'un travail sur la solidification de l'eau, deux enseignants lisent à leurs élèves un extrait du *Roman de Renart* où le loup Isengrin se retrouve avec la queue prise par la glace après l'avoir plongée dans un trou d'eau réalisé par les pêcheurs dans un lac gelé.

A. Le premier propose à ses élèves de reproduire l'histoire. Une procédure est mise en place : la queue du loup est remplacée par un fil de laine, le trou d'eau par un petit pot dans lequel a versé de l'eau et le lac glacé par un mélange réfrigérant (qui descend à -18°C). Les élèves observent que l'eau dans le pot se change en glace et que le fil de laine est pris dedans.

B. Le second demande à ses élèves s'il est possible que dans la réalité la queue du loup soit prise dans la glace comme dans l'univers imaginaire de l'histoire. Avec les élèves, la même procédure que précédemment est mise en place. Ils concluent alors que c'est possible et que l'eau s'est changée en glace.

4.2.2. ÉLÈVES

L'étude porte également sur des élèves de l'école primaire. Cette partie n'est donc pas réalisée dans la posture du praticien-chercheur, les enfants restant à tout moment sous la responsabilité pédagogique de leur maître. Elle se déroule selon deux modalités : observation en situation dans les classes ou sur les Jardins des Sciences, durant lesquelles le chercheur est en position d'« observateur complet », selon la typologie de Gold⁵¹ ; ou interviews par binômes, menés par le chercheur.

2.2.1. Jardin des Sciences

Nous avons utilisé à des fins de recherche un dispositif initialement conçu pour former les enseignants ainsi que leurs jeunes élèves à la démarche d'investigation, le Jardin des sciences (JDS). Ces jardins des sciences sont des manifestations scientifiques qui mettent les élèves en situation de faire vivre des démarches d'investigation à d'autres élèves. Elles sont organisées par des écoles ou des circonscriptions du département des Alpes-Maritimes et rassemblent des

51. « Dans ce rôle, le chercheur ne fait qu'observer et ne prend aucunement part à l'action ; bien que reconnu comme observateur, il réalise une intégration en retrait ». Typologie initiale de Gold (1958), présentée par Stéphane Martineau dans « L'Observation en situation : enjeux, possibilités et limites » in *Recherches Qualitatives*, Hors série n°2, novembre 2005, Actes du colloque de l'Association pour la recherche, 26 novembre 2004, Université du Québec à Trois-Rivières. Accessible en ligne sur le site de la revue (consulté août 2014) :

http://www.recherche-qualitative.qc.ca/revue/hors_serie/hors_serie_v2/SMartineau%20HS2-issn.pdf

enseignants sans formation spécifique⁵² et leurs élèves autour d'un projet festif. L'ensemble des informations relatives à la mise en place d'un JDS (organisation, conseils pratiques, déroulement de séquences, etc.) est présenté dans l'annexe 2.A. (ouvrage *Sciences à l'école côté jardin*).

Un réseau solide de partenaires institutionnels (Inspecteurs de l'Education Nationale et conseillers pédagogiques) a permis de déployer ces manifestations à grande échelle sur le département *via* trois types d'actions :

- la diffusion du guide pratique à destination des enseignants qui comporte l'ensemble des informations nécessaires pour l'organisation en autonomie de JDS par les écoles.
- l'organisation d'animations pédagogiques et de stages de formation pour aider les enseignants à organiser leur propre JDS
- l'organisation de JDS par les circonscriptions en lien avec des actions de formation des enseignants.

La recherche s'appuie sur des JDS organisés en circonscription pour lesquels les enseignants ont bénéficié d'une formation (de 6 à 24h) par le praticien-chercheur. Ces formations ont permis d'établir des relations de confiance à tous les niveaux⁵³(inspection, directeurs d'école, enseignants, parents et enfants *via* les enseignants) ce qui facilite grandement la mise en œuvre de la recherche.

2.2.2. Observation de classe

Modalités

L'observation de classe est réalisée en accord avec l'enseignant et les responsables institutionnels (I.E.N. et conseillers pédagogiques). Il s'agit d'observations ponctuelles de séances, l'enseignant indiquant au chercheur le moment où la séance qu'il souhaite observer va être réalisée. Le chercheur est introduit auprès des élèves comme une personne venant voir ce qui se passe dans la classe.

Une observation apporte néanmoins inévitablement une perturbation au déroulement de la classe, en particulier quand une caméra est introduite. Elle est dirigée vers les enfants et l'enseignant, en privilégiant les enfants lorsqu'il n'est pas possible d'avoir l'ensemble des participants dans le champ. L'expérience nous montre qu'avec des enfants de maternelle, lorsqu'elle est discrètement posée dans un coin, les enfants l'oublient vite — tout comme ils oublient vite l'observateur.

Il convient de ne pas négliger l'importance d'une complicité affichée entre les adultes (sourires, "bise" le cas échéant) dont la perception par les enfants

52. Par opposition à des enseignants reconnus pour leur expertise pédagogique comme les PEMF (professeur des écoles maître formateur) ou pour leur maîtrise de la démarche d'investigation. Il s'agit d'enseignants volontaires pour participer à une manifestation scientifique.

53. A titre d'exemple, c'est un conseiller pédagogique qui a organisé avec les collègues enseignants le planning des interviews, les enfants d'un JDS ont nommé la chercheuse "la dame du château", suite sans doute à sa co-inauguration du JDS dans le parc d'un château et au statut de référent que lui attribuaient leurs enseignants.

désamorce toute inquiétude éventuelle sur le statut du visiteur : il est le bienvenu et n'engendre pas de stress particulier chez l'enseignant.

Classe observée

L'observation (passive) d'un groupe d'élèves en classe de Grande Section a été réalisée par le chercheur à l'école maternelle René Cassin le 9 juin 2011. L'ensemble de la séquence a été enregistrée, audio et vidéo, et les interactions entièrement retranscrites.⁵⁴

La séquence était menée par l'enseignant de la classe, Laurent Antonucci, dans une classe de 25 enfants. Cet enseignant propose régulièrement des activités scientifiques à ses élèves et, avant de travailler sur *Plouf !*, il a travaillé sur l'album *Bascule* et sur les engrenages. Il a participé à une formation⁵⁵ pour la préparation d'un jardin des sciences, dans laquelle la séquence *Plouf !* a été détaillée.

La séance a eu lieu en fin de journée, avec 6 enfants considérés comme "faibles" par leur enseignant (Illustration 2.2.2.). C'est la première fois que les élèves simulent l'histoire qu'ils ont lue précédemment en classe. L'enseignant s'est assuré qu'ils l'avaient bien comprise et qu'ils s'en souvenaient avant d'amorcer ce travail.



Illustration 2.2.2. : L'enseignant et ses élèves, au moment de la construction du puits de l'histoire

2.2.3. Entretiens

2.2.3.1. Modalités de mise en œuvre

Les entretiens sont réalisés en accord avec l'enseignant et des responsables institutionnels (I.E.N. et conseillers pédagogiques). Les enseignants informent les parents que leurs enfants vont être interviewés et s'assurent de leur autorisation. Les rendez-vous pour les entretiens sont pris avec l'enseignant en charge de la classe ; c'est ce dernier qui propose le lieu où ils se tiendront.

Dans le cas du suivi des élèves à un an, c'est l'enseignant en charge de la classe l'année précédente (et directeur de l'école maternelle) qui contacte les enseignants de l'école primaire où étaient scolarisés les enfants encore sur

54. Annexe 7.B., retranscription D1.

55. Deux animations pédagogiques de 3h, soit 6h de formation au total.

place (collègues qu'il connaissait bien), s'assure de leur accord et de celui des parents pour les interviews et organise conjointement avec le directeur de l'école primaire le déroulement des entretiens (lieu pour les entretiens, prêt du matériel utilisé l'année d'avant lors des entretiens, etc.).

Méthode clinique-critique

Les entretiens sont réalisés par binômes d'élèves, constitués par les enseignants. Le déroulement des entretiens s'inspire de la méthode *clinique-critique* développée par Piaget⁵⁶. Il s'agit d'un dialogue libre avec les enfants pendant lequel le chercheur reprend les mots qu'ils utilisent et pose des questions susceptibles de faire surgir les éléments recherchés, sans pour autant fournir d'indice dans les questions. Suivant les circonstances, il utilise un canevas d'entretien ou se laisse guider par les réponses des enfants et réagit en situation. Pour les élèves de maternelle ayant vécu en classe la séquence *Plouf !, Transvasements, Se dissoudre ou pas (fabrication de boules à neige) et Sabliers*⁵⁷, un canevas d'interview sert de guide au questionnement.

La méthode a été validée *a priori* auprès de spécialistes⁵⁸. Par ailleurs, une interview portant sur la séquence *Plouf !* a été visionnée en commun avec un psychologue expert dans l'analyse d'entretiens, le Prof. Henri Lehalle (Un. Montpellier), et nous nous sommes assurés à cette occasion que nous ne surinterprétions pas le contenu de l'échange.

Contexte émotionnel

Les entretiens sont menés de façon à ce que les enfants soient à l'aise et passent un moment agréable⁵⁹. La présence d'un camarade, proposée par le chercheur et appréciée par les enseignants, évite ainsi aux élèves de se sentir en situation d'évaluation. Les relations chaleureuses entre le chercheur et l'enseignant favorisent également la mise en confiance des enfants. D'expérience, non seulement nous n'avons jamais eu de refus de la part des enfants mais, lorsqu'une récréation venait interrompre le déroulement des entretiens, les enfants non encore interrogés s'assuraient auprès du chercheur qu'eux-aussi allaient être interviewés. Quand, par manque de temps, il ne nous était pas possible d'interviewer tous les enfants par binôme, nous avons réalisé des entretiens avec 4 ou 5 enfants afin qu'aucun ne se sente "laissé pour compte".

Conditions matérielles

Les entretiens se déroulent dans lieu familier des enfants où ils se sentent à l'aise, typiquement un "coin" dédié de la classe ou un couloir la jouxtant.

56. Jean Piaget, « La Psychanalyse dans ses rapports avec la psychologie de l'enfant », *Bulletin de la Société Alfred Binet*, 1, 1920, pp. 18-34.

Marcela Resta Schweitzer décrit plus en détail cette procédure dans sa thèse de doctorat, *Initiation scientifique et développement intellectuel du jeune enfant*, Université d'Angers, 2010, pp. 162-163.

57. Séquences disponibles dans le guide *Sciences à l'école côté jardin*, op. cit., pp. 309-314, 331-339, 341-345, 357-361.

58. Échanges en particulier avec Pascale Montpied (Icar, CNRS, Lyon), Marcela Schweitzer (psychologue) et Bernard Convert (sociologue, CNRS Lille).

59. Certains enseignants de maternelle ont par ailleurs assisté à un ou deux entretiens réalisés avec leurs élèves, le plus souvent en observateurs mais parfois aussi en proposant un questionnement complémentaire.

Ils sont systématiquement filmés et un enregistrement sonore est réalisé, les enfants parlant souvent à voix basse. Leur durée varie de 10 à 30 minutes environ selon la concentration des élèves. Les élèves sont interviewés dans leur école, à proximité de leur classe (couloir, dortoir, salle de jeux, bibliothèque), le chercheur s'adaptant aux conditions locales. Lors des interviews, la caméra est dirigée vers les enfants, vus de face autant que possible, le chercheur étant visible de profil ou de dos, suivant les conditions matérielles de l'enregistrement.

L'ensemble des enregistrements représente environ 110 heures d'enregistrement vidéo et autant en enregistrement audio.

Transcriptions

Les procédures de transcription sont les mêmes que celles présentées dans la section 2.1.4.2.

2.2.3.2. Présentation des classes

Classe ayant travaillé sur les transvasements

Les 18 élèves interrogés (7 binômes et 4 élèves seuls, soit 11 entretiens) en juin 2013 appartiennent à la classe de PS/GS de l'école Mistral de Peymenade (22 élèves en GS, 6 en PS, 4 élèves de GS absents lors de l'entretien). C'est une classe dont la gestion est compliquée tant par le nombre d'élèves (28) que par la présence de trois élèves très agités.

L'enseignante, M^{me} Geroux, 50 ans avec 30 années d'ancienneté, dont 15 d'expérience en maternelle (formation initiale, DEUG de psychologie). Elle a été sensibilisée aux critères de scientificité lors d'une formation de 24 heures avec le praticien-chercheur en novembre 2013, soit six mois avant le jardin des sciences. Elle participe pour la première fois à ce type d'animation.

Elle a choisi de travailler sur la séquence « Transvasements » et réalisé avec ses élèves de nombreuses expériences en modifiant des paramètres indifférents (forme du pot, couleur de l'eau). Du point de vue de l'initiation à la démarche scientifique, elle a donc insisté avec ses élèves sur la robustesse.

Par ailleurs, les fiches manipulées par les élèves sur l'animation nécessitent un aller-retour entre des récipients symbolisés par des cylindres et ceux effectivement utilisés, ce qui revient à un premier travail sur l'exploitation du spectre de généralité et sur le recul.

Ni le mot *science* ni les mots *robuste/robustesse*, *exploitation du spectre de généralité*, *recul*, etc. n'ont toutefois été employés en classe.

Les élèves ont appris en classe à ne pas se fier à la hauteur atteinte par des liquides ou solides dispersés dans différents récipients pour comparer leurs volumes respectifs. Sur le Jardin des sciences, ils proposent à leurs jeunes visiteurs de classer du moins rempli au plus rempli trois récipients de formes différentes contenant des liquides colorés. Les visiteurs ont à disposition trois récipients identiques (bouteilles) et des coupelles comme contenants-étalons.

Les élèves ont participé et animé deux jardins des sciences (resp. sur Mouans-Sartoux et sur Peymeinade) à une semaine d'intervalle.



Illustration 2.2.3.2.a. : Une élève de GS de la classe « transvasements » anime l'atelier sur le Jardin des sciences de Peymeinade, 6 juin 2013

La constitution des binômes pendant l'entretien est la même que celle des binômes d'animateurs sur le jardin des sciences. L'enseignante a souvent associé un enfant capable de s'imposer sur l'animation et un autre plus effacé. Il a été systématiquement demandé aux élèves dont le binôme était absent s'ils préféreraient être interrogés avec un autre camarade. Tous ont décliné la proposition, apparemment ravis d'être seuls. Pendant l'entretien, ils ont manipulé des récipients de formes différentes contenant des lentilles pour trouver celui qui en contenait le plus.

Classe ayant travaillé sur les sabliers

Les 22 élèves interrogés (10 binômes et 2 élèves seuls soit 12 entretiens) en juin 2013 appartiennent à la classe de GS de l'école Fragonard de Peymenade.

L'enseignante, M^{me} Pradel, est âgée de 46 ans, avec 21 années d'ancienneté dont 4 d'expérience en maternelle. Titulaire d'un CAFIPEMF et d'une maîtrise de biologie, M^{me} Pradel a enseigné les sciences en lycée avant de devenir professeur des écoles. Elle a été sensibilisée aux critères de scientificité lors d'une formation de 24 heures avec le praticien-chercheur en mars 2012, soit un an et un mois avant le jardin des sciences, auquel elle participe pour la deuxième fois.

Elle a choisi de travailler sur la séquence « Sabliers » en insistant avec ses élèves sur la primauté de l'expérience. Elle a également reproduit de très nombreuses fois les expériences, sans les lasser.

« Je me suis dis, ils vont en avoir marre. Eh bien, non. Ils ont fait, refait et re-refait sans problème. Quand ils manipulent, ils ne se lassent pas. »

M^{me} Pradel, enseignante de GS

Par ailleurs, les fiches manipulées par les élèves sur l'animation nécessitent de leur part un aller-retour entre des dessins des sabliers (représentés par deux bouteilles) et les récipients effectivement utilisés.

Les élèves ont appris en classe que la quantité de matière peut modifier la durée d'écoulement d'un sablier. Ils ont également utilisé deux matériaux granuleux différents. Sur le jardin des sciences, ils proposent à leurs jeunes visiteurs de construire un sablier et travaillent uniquement sur le paramètre "quantité de matière", donc à diamètre de trou constant et avec deux matières,

du sable coloré à gros grains et du gravier blanc plus fin. En classe, la maîtresse a consacré une séance à faire varier le diamètre du trou du sablier. Aucun travail n'a été réalisé sur l'influence de la matière utilisée sur le durée d'écoulement.



Illustration 2.2.3.2.b. : Des élèves de GS de la classe « sabliers » (à gauche) animent l'atelier sur le Jardin des sciences de Peymeinade, 6 juin 2013

Comme précédemment, la constitution des binômes est la même que celle des binômes d'animateurs sur le jardin des sciences et les élèves dont le binôme était absent ont préféré être interrogés seuls. Les enfants n'ont pas manipulé lors de l'entretien, même si beaucoup en ont exprimé le souhait.

Classe ayant travaillé sur la fabrication de boules à neige

Les 28 élèves interrogés (8 binômes et 4 trinômes) en juin 2013 appartiennent à la classe de GS de l'école Saint-Exupéry de Peymenade.

L'enseignante, M^{me} Eynard, est âgée de 39 ans, avec 12 années d'ancienneté dont 11 d'expérience en maternelle. M^{me} Eynard est titulaire d'une maîtrise en administration économique et sociale. Elle n'a pas été sensibilisée aux critères de scientificité par le praticien-chercheur mais a bénéficié de 3 heures d'animation pédagogique en novembre 2012 pour l'organisation du jardin des sciences, soit cinq mois avant ce dernier, auquel elle participe pour la première fois.

Elle a choisi la séquence « Se dissoudre ou pas » et a essentiellement travaillé sur la primauté de l'expérience dans sa classe :

« Essayer n'était pas spontané. Je leur demandais « comment le sais-tu ? » et ils me répondaient « je le sais », je continuais : « Tu en es sûr ? » et ils me répondaient : « Oui » ; je leur disais « Regardez, il y a des choses sur la table, que pourrait-on faire ? » « Rien ». Et là, je me suis dis, ouh la la, on a insisté. »

M^{me} Eynard, enseignante de GS

Par ailleurs, chaque séance a été refaite au moins deux fois, avec des enfants « toujours motivés ».

Pour fabriquer une boule à neige, les élèves ont cherché en classe quelle matière mettre dans un petit pot d'eau fermant hermétiquement pour simuler de la neige qui tombe. Sur le Jardin des sciences, ils demandent aux visiteurs comment « faire la neige » et leur proposent de tester différents matériaux blancs. Après plusieurs constat d'échec avec divers matériaux essayés par les

visiteurs (cailloux, sel, etc.), des petits morceaux de gomme à effacer sont présentés et permettent de réaliser une boule à neige acceptable.



Illustration 2.2.3.2.c. : Des élèves de GS de la classe « boule à neige » animent l'atelier sur le Jardin des sciences de Peymeinade, 6 juin 2013

La constitution des binômes et trinômes est la même que celle des équipes d'animateurs sur le jardin des sciences. Les enfants n'ont pas manipulé lors de l'entretien.

Classes ayant travaillé sur l'album Plouf !

Pour évaluer la robustesse à moyen et long terme des acquis, certaines interviews concernant en particulier la séquence « *Plouf !* » ont été plus ou moins espacées de la mise en œuvre de la séquence, de quelques jours à dix-huit mois. En tout, 29 entretiens longs ont été réalisés.

Au cours de l'entretien, les élèves peuvent être invités par le chercheur à manipuler de nouveau, ce qui n'est *a priori* pas sans effet sur l'apprentissage. Pour s'affranchir de cet effet, chaque élève n'a subi qu'un seul entretien au cours de l'année du Jardin des sciences.

Classe de M^{me} Pradel (Intervalle : 1 mois)

M^{me} Pradel (pour sa présentation, cf. *supra*, classe ayant travaillé sur les sabliers) a suivi « *à la lettre* » la séquence proposée par le chercheur. Ses élèves ont ensuite animé un atelier autour de *Plouf !* sur le Jardin des sciences de Mouans-Sartoux. Leur préparation à l'animation inclut la construction de puits utilisant différentes sortes de poulie et de supports simulant la structure du puits.

Dix entretiens (23 élèves) ont été réalisés dans la classe le 27 juin 2012, soit un mois après le Jardin des sciences. Neuf impliquaient des binômes ; le dernier, cinq enfants⁶⁰.

Classe de M. Wolff (Intervalles : 7 mois & 19 mois)

Jean-Luc Wolff est directeur de l'école Calade Saint-Roch de Biot et a suivi une animation pédagogique de trois heures présentant l'utilisation d'albums pour enseigner les sciences en novembre 2011 avec le praticien-chercheur.

60. cf. Annexe 7.A.a., entretiens numérotés de B1 à B10.

Suite à cette animation, il a décidé de mettre en place un jardin des sciences dans son école et a motivé son équipe pour faire vivre aux élèves des séquences utilisant les albums *Plouf !*, *Bascule* et *Petit Glaçon*. Toutes ces séquences ont déjà été vécues par les élèves au moment des entretiens.

Les premiers entretiens ont lieu le 5 mai 2011 avec seize élèves de sa classe (6 binômes et un groupe de 4 élèves, entretiens numérotés de A1 à A7), sept mois après sa mise en place dans la classe. L'enseignant a laissé le puits fabriqué à la disposition des élèves pour des manipulations libres pendant deux semaines.

Les seconds entretiens ont eu lieu le 25 juin 2012. Il a été possible de retrouver quinze élèves en CP dans l'école élémentaire adjacente Calade Saint-Roch. C'est M. Wolff qui a pris contact avec ses collègues et organisé les entretiens. Huit entretiens ont été réalisés en recréant autant que possible les binômes interviewés l'année précédente (entretiens A1_{Post} à A5_{Post}).

Classe de M^{me} X (Intervalles : 4 mois & 16 mois)

Les dix élèves de sa collègue Karine X. (5 binômes, entretiens numérotés de A8 à A12) ont réalisé la séance quatre mois avant les entretiens et n'ont pas eu le puits à disposition après la séance pour des manipulations complémentaires. Cette collègue a été formée par M. Wolff à la mise en œuvre de la séquence *Plouf !*. Les seconds entretiens ont eu lieu le 25 juin 2012 (entretiens A8_{Post} à A12_{Post}).

2.2.4. Questionnaire Jardin des Sciences

La passation du questionnaire est réalisée dans les classes, sous le contrôle des enseignants, le mois qui suit la manifestation Jardin des Sciences.

Pour les plus jeunes élèves, les questions sont lues voire explicitées par l'enseignant et suffisamment de temps est donné aux élèves. La nature des questions ne laisse aucun doute sur le fait qu'il ne s'agit pas d'une évaluation :

Quel atelier as-tu animé ?
 Quels ateliers as-tu visités ?
 Est-ce que tu aime faire des sciences ?
 C'est quoi pour toi faire des sciences ?
 Tu es sur un atelier et au moment où tu te poses une question, un grand du collège arrive. Il te dit que lui sait parce qu'il est très fort en science. Un autre arrive et lui dit, mais non, ce n'est pas comme tu dis parce que moi j'ai essayé et cela se passe comme cela. qui crois-tu ? Explique pourquoi...
 Lequel des deux est le plus scientifique ?
 As-tu aimé participer au jardin des sciences ?
 Es-tu content d'avoir animé pour tes camarades ?
 Souhaites-tu participer de nouveau à un jardin des sciences l'année prochaine (même si tu vas au collège) ?
 As-tu appris des choses pendant cette journée ? si oui, peux-tu raconter ?
 Quels conseils donnerais-tu à des élèves qui souhaitent faire un jardin des sciences pour la première fois ?

Tableau 2.2.4.a. : Questions posées aux élèves après un jardin des sciences en 2010 et 2011

As-tu fais de la science aujourd'hui ?
Quelle activité scientifique as-tu préférée ?
Comment sais-tu que c'était de la science ?
Plus généralement, pour toi, c'est quoi faire des sciences ?

Tableau 2.2.4.b. : Questions posées aux élèves après un jardin des sciences en 2013

Elèves participant à l'étude :

- 196 élèves du CP au CM2 sur le jardin des sciences de Cagnes-sur-Mer (juin 2011)
- 282 élèves du CE2 au CM2 sur le jardin des sciences de Mouans-Sartoux (juin 2011)
- 542 élèves du CP au CM2 sur les jardins des sciences de Mouans-Sartoux et Peymeinade (juin 2013)
- 63 élèves du CP au CM2 sur le jardin des sciences de Nice Flore (juin 2013)
- 30 élèves de CM2 de l'école Auber à Nice dont les enseignants enseignent les sciences mais qui n'ont pas participé à des jardins des sciences pour comparaison (juin 2013)

2.2.5. Traitement des données

La méthode d'identification d'éléments d'intérêt épistémologique, l'analyse des transcriptions et le traitement des questionnaires sont similaires à ceux réalisés avec le public adulte (cf. § 2.1.5).

La séance observée en classe et les interviews suite à la séquence sur *Plouf !* sont intégralement retranscrites. Les interviews suite aux jardins des sciences de Mouans-Sartoux sont retranscrites partiellement ; la sélection des événements à retranscrire s'opère après écoute intégrale.

Diagrammes de Kiviat

Les diagrammes de Kiviat (aussi appelés diagramme « en étoile » ou « en radar ») sont une technique de présentation de résultats complexes simultanément considérés sous de multiples dimensions, associées à autant de paramètres pertinents, standardisée pour en faciliter la comparaison.⁶¹ Chaque dimension constitue une branche (un axe) du diagramme, graduée de 0 à 4 en partant du centre commun. À chaque graduation est, chaque fois que possible, associé un palier qualitatif.

Ils sont ici mis en œuvre pour l'analyse qualitative⁶² de l'appropriation par les participants de critères de scientificité, du statut de la fiction ou de contenus

61. Voir par exemple Michael Friendly, « Statistical graphics for multivariate data », conf. SAS SUGI 16, avril 1991. En ligne (consulté août 2014) : http://www.math.yorku.ca/SCS/sugi/sugi16-paper.html#H1_5

62. Nous suivons en cela Michel Grangeat qui utilise de tels diagrammes pour rendre compte des effets du travail collectif dans les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation. Michel Grangeat, « Une Modélisation pour identifier les effets du travail collectif dans

notionels. Les paliers correspondent à des compétences croissantes de la dimension considérée (1 pour le palier associé à une compréhension minimale de l'exercice, 4 pour la maîtrise de tous ses objectifs). L'évaluation permet des valeurs intermédiaires (demi-entières), lorsqu'un palier est clairement dépassé, sans que toutes les compétences correspondant au suivant soient atteintes dans la dimension évaluée.

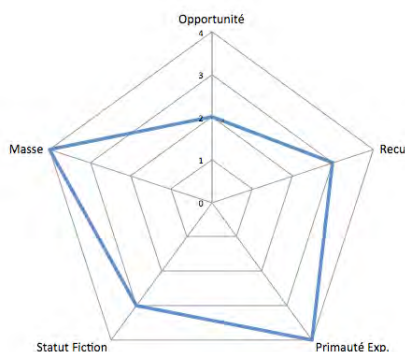


Figure 2.2.5. : Exemple de diagramme de Kiviat
(appropriation de cinq compétences indépendantes par un élève donné)

Cet outil est particulièrement efficace lorsqu'il est possible de comparer pour différents sujets des évaluations portant sur l'ensemble des dimensions, ce que favorise, dans le cadre d'interviews, l'utilisation d'un questionnaire semi-directif. Il perd de sa pertinence lorsqu'il s'agit de comparer des évaluations dans lesquelles certaines dimensions sont absentes, ou mal caractérisées. L'évaluation de chaque interview sur les paliers considérés est réalisée indépendamment par trois personnes différentes. Les résultats sont comparés et lorsque des différences significatives (supérieures à un demi-palier) apparaissent, elles sont discutées afin d'obtenir un consensus.

4.2.3. LIMITES ET DISCUSSION

Lorsqu'elle est matériellement possible, l'analyse systématique *a posteriori* de la transcription intégrale des interactions (e.g. entre pairs, et entre étudiants et formateur) associée à celle de résultats d'évaluation (questionnaires) est une technique puissante d'identification d'éléments de scientificité ou d'obstacles épistémologiques à l'œuvre lors d'une formation. Elle se heurte toutefois aussi bien à des limites d'ordre pratique que, de façon plus fondamentale, à celles que rencontrent inévitablement les sciences humaines lors de toute approche expérimentale de processus cognitifs.

Limites intrinsèques

L'hypothèse sous-jacente à tout travail de ce type est que l'ensemble des éléments intéressants se manifestent lors de l'étude, le travail du chercheur étant de les

les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation. », in Actes du colloque international Formes d'éducation et processus d'émancipation, CREAD, Rennes, 22-24 mai 2012. Accessible sur le site du CREAD (consulté août 2014) : http://esup.bretagne.iufm.fr/colloque_cread_2012/paper_submission/Grangeat.pdf

identifier et de les analyser. Une telle hypothèse est malheureusement toujours doublement abusive.

D'une part, les outils mis en œuvre (questionnaires, etc.) sont conçus en fonction de questions de recherche formulées *a priori*, et peuvent s'avérer d'autant plus limitatifs qu'ils y sont plus précisément adaptés. Sauf exception, on observe surtout ce que l'on attend.⁶³ Or on n'est pas à l'abri d'un élément rare, voire original non anticipé lors de la conception de ces questionnaires. Dans notre cas, cette difficulté générale est renforcée par l'obligation de perturbation minimale du déroulement "normal" des formations réalisées par le praticien-chercheur qui interdit l'emploi d'outils de conception plus large (e.g. questionnaires longs).

D'autre part, à supposer même que l'on se soit doté d'outils idéalement "ouverts" n'imposant pas de filtre particulier aux données recueillies, il n'est pas évident que tous les éléments pertinents se manifestent durant l'étude. Ainsi, certaines conceptions initiales, responsables d'un "blocage" peuvent ainsi prendre des années pour se révéler.⁶⁴ Il ne suffit donc pas de susciter des situations *a priori* propices, c'est-à-dire connues pour favoriser l'émergence de conceptions classiques chez de nombreux participants, pour garantir celle de conceptions rares, ou chez des sujets atypiques. Lorsque de tels éléments se manifestent, c'est souvent par des voies indirectes, et l'on n'est jamais sûr de les repérer au vol, ni *a fortiori* de les identifier correctement.

Par ailleurs, on sait que c'est l'apprenant (enfant comme adulte) qui construit son propre savoir, les apports externes ayant aussi une place centrale⁶⁵. L'effet d'une formation peut donc se concrétiser, pour un sujet donné, assez longtemps après celle-ci. Cela peut se produire à l'occasion de la préparation ou de la mise en œuvre d'une séquence, d'une discussion entre collègues, alors que le sujet s'est dépouillé de sa posture plus passive "d'apprenant" en formation). Or, à de rares exceptions près, le contact avec les participants est perdu après la période de formation, ce qui limite drastiquement les possibilités d'identifier des modifications advenues sur le long terme.

Objectivité du praticien-chercheur

La posture de praticien-chercheur permet de travailler sur de grandes populations, statistiquement représentatives. Elle permet également une large maîtrise du processus. En revanche, elle ne garantit pas nécessairement le même degré d'objectivité que celle qu'aurait pu présenter un chercheur exclusif, extérieur au projet de formation, ou *a fortiori* une équipe de recherche étendue.

63. Une formulation plus précise serait que la communication n'est possible autour de l'élément concerné que si le chercheur participe de la subjectivité collective correspondante, *a priori* distincte de la culture savante. La situation la plus courante est que le sujet ne s'est pas encore approprié un concept (du monde 3) bien assimilé par l'analyste, et ne dispose pas des mots pour exprimer ses conceptions personnelles. Il peut toutefois aussi arriver que l'analyste n'ait lui-même pas assimilé une nuance conceptuelle et "passe à côté" de son importance pour le sujet — voire, en principe du moins, que le sujet et l'analyste participent de deux paradigmes également légitimes.

64. Tant qu'elles semblent efficaces, un sujet n'a pas de raison particulière de remettre en cause ses conceptions initiales, aussi erronées soient-elles, et de nombreuses personnes se satisfont durablement d'explications approximatives. En effet, « *La conception de l'apprenant intervient (...) comme une formidable résistance à toute nouvelle information qui pourrait déséquilibrer le système d'explications en place.* » André Giordan, « Les Conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage...! » *op.cit.*

65. « *On se rend compte que c'est l'élève qui construit son savoir à partir de son activité (manipulatoire comme intellectuelle), et que personne n'est en mesure de se substituer à lui dans ses réorganisations cognitives successives.* » Jean-Pierre Astolfi, *L'Ecole pour apprendre*, ESF éd. Paris, 2004, p. 42.

Au-delà de l'inévitable orientation de l'analyse par les présupposés théoriques du chercheur et ses questions de recherche, qui se présente de façon pratiquement similaire dans toutes les études, la posture du praticien-chercheur pose en effet des problèmes spécifiques en matière d'objectivité. Le plus évident concerne l'évaluation de sa propre performance comme formateur. Il apparaît relativement facile à éliminer, en s'interdisant toute évaluation de cette performance, *a fortiori* par comparaison avec celle d'autres formateurs, et en éliminant *a priori* toute question de recherche impliquant, directement ou indirectement, une telle évaluation.

Il peut en revanche apparaître plus difficile au praticien-chercheur d'évaluer objectivement la neutralité des techniques maïeutiques qu'il déploie en cours pour susciter l'expression des élèves.

Enfin, une troisième difficulté spécifique concerne l'identification d'expressions d'élèves pertinentes, mais non poursuivies sur le moment. Il convient ici de distinguer deux instances. Le cas le plus fréquent est celui d'une intervention passée effectivement inaperçue, ou aperçue mais non traitée faute de temps, mais à laquelle l'audition des enregistrements fournit en quelque sorte une "seconde chance". La posture de praticien-chercheur constitue alors un atout, dans la mesure où sa prise en compte *a posteriori* l'est par la même personne, et autant que possible avec les mêmes critères, que les interventions prises en compte en situation. En revanche, elle constitue un inconvénient en ce qui concerne les interventions délibérément ignorées en situation, faute de percevoir leur pertinence, et qui ont *a priori* plus de chances de l'être de nouveau par la même personne que par un chercheur distinct du formateur. En l'occurrence, la transcription intégrale des échanges est un facteur d'objectivité, la perception de la pertinence d'un tel élément pouvant être différente sous un nouveau mode d'accès (écrit plutôt qu'oral, ici).

Les solutions retenues pour pallier ces difficultés consistent à favoriser l'intervention de personnes extérieures dans l'étude, à croiser les données provenant de différentes sources et à garantir à d'autres chercheurs l'accès aux données brutes (e.g. transcriptions).

Limites matérielles

Le temps nécessaire au traitement d'une heure d'enregistrement (écoutes multiples, transcription, analyse) est de l'ordre de six heures. De même pour une interview, auquel s'ajoute le temps passé à réaliser l'interview et les déplacements jusqu'aux écoles. Ces coefficients multiplicatifs limitent donc, concrètement, le nombre des transcriptions et des interviews réalisées.

D'autre part, le contexte de l'étude impose de ne perturber qu'aussi peu que possible la formation, non seulement pour des raisons liées à la recherche mais également et surtout pour des raisons contextuelles. Les participants à cette étude sont bénévoles et n'acceptent d'y participer que dans la mesure où elle ne perturbe pas leur formation ce qui exclut donc la passation de questionnaires longs tout comme celle d'interview systématiques, etc.

Les solutions à ce type de difficultés prosaïques sont connues : grandes équipes de recherche, embauche le cas échéant d'un nombre significatif de vacataires pour effectuer le travail de transcription, de gestion des données, public non bénévole⁶⁶.

66. Rémunéré ou qui, en compensation de sa participation pleine et entière, bénéficie d'une formation diplômante non payante (dans les pays où elles le sont normalement, comme les USA).

Elles se rencontrent en particulier aux Etats-Unis, dans des équipes bénéficiant de budgets de recherche considérables. Une telle approche est difficilement envisageable ici, ce qui induit inévitablement des compromis sur le nombre de sujets ou l'approfondissement de leur étude.

Contamination du questionnement

Le contrat moral implicite entre le praticien-chercheur et les participants à ses formations impose de leur fournir des éléments de réponse aux questions qu'il leur a soumises, et pour lesquelles il a sollicité leur intérêt. Les participants ayant déjà bénéficié d'une formation donnée ne sont donc généralement plus des sujets recevables pour les mêmes questions, auxquelles, dans le meilleur des cas, ils seraient tentés de fournir les "bonnes" réponses précédemment fournies. Le cas des « doublants », heureusement assez rare, est traité par marquage de leurs questionnaires pour identification, auquel ils se prêtent volontiers, restant ensuite "discrets" au cours de la formation.⁶⁷

Une variante de cette difficulté concerne la diffusion hors formation officielle, par le "bouche-à-oreille" et l'auto-formation des enseignants entre pairs, de résultats marquants (e.g. la relativité du mouvement de la Terre et du Soleil) ou d'outils adoptés par les enseignants (e.g. les critères de scientificité). On peut ainsi estimer qu'après deux ou trois années d'interventions régulières dans une même circonscription avec des petits groupes de participants (15 à 25), un tiers environ de ses enseignants ont été touchés directement⁶⁸, et qu'il devient délicat d'admettre que les autres n'ont pas déjà été indirectement "contaminés" par l'influence du praticien-chercheur.

De même, la proportion d'anciens étudiants IUFM ayant déjà vécu les séquences correspondantes, et devant dans une certaine mesure être traités comme des "doublants", augmente mécaniquement avec le temps. Depuis le début de l'étude, environ 400 étudiants formés par le praticien-chercheur ont ainsi obtenu un poste dans le département.

67. Dans cette situation, les participants ayant déjà bénéficié d'une formation similaire se mettent en retrait ou facilitent la compréhension de leurs collègues plutôt que de dévoiler le contenu de la formation et de « casser » les investigations en cours. Il n'est pas rare que ce ne soit qu'en fin de formation que certains, non identifiés par le praticien-chercheur, se révèlent. Dans quelques cas, il arrive cependant qu'un participant « doublant » trop enthousiaste rende inutilisable les questionnaires de tout un groupe en indiquant à voix haute la « bonne » réponse et en précisant qu'il la connaît pour avoir déjà participé à une formation.

68. Une circonscription des Alpes-Maritimes gère approximativement 350 enseignants. Le département comprend 17 circonscriptions.

Addendum 4

Corpus pour l'identification d'éléments de scientificité

Corpus historique

Naissance de la physique aristotélicienne

Sources primaires

- [A1] Aristote, *La Physique* ; éd. Flammarion, Paris, trad. Pierre Pellegrin, 1999.
- [A2] Aristote, *La Métaphysique* ; éd. Flammarion, Paris, trad. Marie-Paule Duminil et Annick Jaulin, 2008.
- [A3] Platon, *Théétète* ; éd. Garnier Flammarion, Paris, trad. Michel Narcy, 1999.
- [A4] Claude Ptolémée, *Almageste (ou Syntaxe mathématique)*, in Germaine Aujac, *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe*, éd. du CTHS, Paris, 1993.

Sources secondaires

- [A5] Émile Bréhier, *La Théorie des incorporels dans l'ancien stoïcisme*, 1907 ; éd. Vrin, Paris, 1987.
- [A6] Marcel Detienne & Jean-Pierre Vernant, *Les Ruses de l'intelligence : La Mètis des grecs*, 1975 ; éd. Flammarion, coll. Champs Essais, 2009.
- [A7] Pierre Duhem, *L'Aube du savoir. Épitomé du Système du monde* ; éd. Hermann, Paris, textes établis par Anastasios Brenner, 1997.
- [A8] Michel Serres, *La Naissance de la physique dans le texte de Lucrèce. Fleuves et turbulences* ; éd. Minuit, 1977.
- [A9] Jean-Jacques Szczeciniarz, *La Terre immobile. Aristote, Ptolémée, Husserl* ; éd. PUF, Paris, 2003.
- [A10] Jean-Pierre Vernant, *Les Origines de la pensée grecque*, 1962 ; éd. PUF, coll. Quadrige, Paris, 2007.
- [A11] Germaine Aujac, *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe* ; éd. du CTHS, Paris, 1993.

Période scolastique (XIII^e-XIV^e siècles)

Sources primaires

- [A12] Roger Bacon, *Opus Majus*, 1267 ; éd. Kessinger Publishing, U.S.A., trad. Robert Belle Burke, 2010.
- [A13] Jean Buridan, *Le Traité des conséquences (Tractatus de consequentiis)* ; éd. Les Presses philosophiques, Longueuil (Québec), trad. et commentaires Benoît Patar, 2002.
- [A14] Nicolas de Cues, *La Docte ignorance (De docta ignorantia, 1440)* ; éd. Payot et Rivage, Paris, trad. Hervé Pasqua, 2011.
- [A15] Guillaume d'Ockham, *Quaestiones et decisiones in quatuor libros sententiarum cum centilogio theologico*, 1319.
- [A16] Etienne Tempier, *La Condamnation parisienne de 1277* ; éd. Vrin, coll. Sic et Non, Paris, trad. David Piché, 1999.

Sources secondaires

- [A17] Pierre Duhem, *Le Système du monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Vol.6, *Le Reflux de l'aristotélisme ; les condamnations de 1277* ; éd. Hermann, Paris, 1913.
- [A18] Edward Grant, *Physical Science in the Middle Ages* ; éd. Cambridge University Press, New York, 1977.
- [A19] Claude Panaccio, *Les Mots, les concepts et les choses. La Sémantique de Guillaume d'Ockham et le nominalisme d'aujourd'hui* ; éd. Vrin, Paris, 1991.
- [A20] Eric Picholle, « En suivant le doigt de Copernic » in *Les Subjectivités collectives, Sciences & Fictions à Peyresq*, n°3 ; éd. Somnium, Nice, 2012.

Période copernicienne (XVI^e siècle)

Sources primaires

- [A21] Giordano Bruno, *L'Infini, l'univers et les mondes* (*De l'Infinito, universo e mondi*, 1584) ; éd. Berg International, Paris, trad. Bertrand Levergeois, 1987.
- [A22] Giordano Bruno, *Le Banquet des cendres* (*La Cena de la ceneri*, 1584) ; éd. de l'éclat, coll. Philosophie imaginaire, Paris, trad. Yves Hersant, 2006.
- [A23] Nicolas Copernic, *Des Révolutions des orbes célestes* (*De Revolutionibus Orbium Coelestium*, 1543) ; éd. Diderot, coll. Pergame, Paris, trad. du livre I, chapitres I à XI, trad. Alexandre Koyré, 1998.
- [A24] Johannes Kepler, *L'Astronomie nouvelle* (*Astronomia Nova*, 1609) ; éd. Blanchard, Paris, trad. Jean Peyroux, 1979.
- [A25] Bernard Palissy, *De l'Art de Terre*, 1564 ; éd. Lumen Animi, Paris, 1930.

Sources secondaires

- [A23] Michel Blay, *Les Raisons de l'infini : du Monde clos à l'univers mathématique* ; éd. Gallimard, coll. NRF essais, 1993.
- [A26] Bertrand Gille, « Les XVe et XVIe siècles en Occident », in *Les Premières étapes du machinisme, Histoire générale des techniques*, tome 2 ; éd. Presses Universitaires de France, Paris, dir. Maurice Dumas, 1964, pp. 7-139.
- [A27] Alexandre Koyré, *La Révolution astronomique : Copernic, Kepler, Borelli* ; éd. Hermann, Paris, 1961.
- [A28] Thomas S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962) ; éd. Flammarion, 1983.
- [A29] Thomas S. Kuhn, *La Révolution copernicienne* (*The Copernican Revolution*, 1957) ; éd. Fayard, Paris, 1973.

Période galiléenne & cartésienne (XVII^e siècle)

Sources primaires

- [A30] Francis Bacon, *Novum Organum*, 1620 ; éd. PUF, coll. Epiméthée, Paris, trad. Michel Malherbe et Jean-Marie Pousseur, 2010.
- [A31] René Descartes, *Discours de la Méthode*, 1637, in *Œuvres et Lettres* ; éd. La Pléiade, coll. Bibliothèque de la Pléiade, Paris, 1996.
- [A32] René Descartes, *Règles pour la direction de l'esprit* (*Regulae ad directionem ingenii*, vers 1628), in *Œuvres et Lettres* ; éd. La Pléiade, coll. Bibliothèque de la Pléiade, Paris, 1996.
- [A33] Galilée, *L'Essayeur*, 1623 ; éd. Belles Lettres, Paris, 1989.
- [A34] Galilée, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, 1632) ; éd. Seuil, coll. Points Sciences, Paris, trad. René Fréreau et François de Gandt, 1992.
- [A35] Galilée, *Discours concernant deux sciences nouvelles* (*Discorsi e Dimostrazioni matematiche intorno a due scienze attenanti alla mecanica ed i movimenti locali*, 1638) ; éd. PUF, Paris, trad. Maurice Clavelin, 1995.
- [A36] Blaise Pascal, *Expériences nouvelles touchant le vide*, 1647 ; éd. BNF, Gallica : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k110877z>.
- [A37] Blaise Pascal, *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, 1648 ; éd. BNF, Gallica : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b86221002>.

Sources secondaires

- [A38] Michel Blay, *La Science du mouvement : de Galilée à Lagrange* ; éd. Belin, coll. Belin Sup Histoire des Sciences, Paris, 2002.
- [A39] Michel Blay, *Les Raisons de l'infini : du Monde clos à l'univers mathématique* ; éd. Gallimard, coll. NRF essais, Paris, 1993.
- [A40] Paul Feyerabend, *Contre la méthode* (*Against Method*, 1975) ; éd. Seuil, coll. Points Sciences, Paris, 1988.

Formalisation newtonienne (XVII^e - XIX^e siècles)

Sources primaires

[A41] Pierre-Simon Laplace, *Exposition du système du monde*, 1836 ; éd. Fayard, col. *Corpus des œuvres de philosophie en langue française*, Paris, 1984.

[A42] Isaac Newton, *De la gravitation* (*De gravitatione et equipondio fluidorum*, 1668) ; éd. Gallimard, coll. Tel, Paris, 1995.

[A43] Isaac Newton, *Principia - Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687) ; éd. Dunod, trad. Emilie du Châtelet, 2011.

Sources secondaires

[A44] Françoise Balibar, *Galilée, Newton lus par Einstein* ; éd. PUF, Paris, 2008.

[A45] Lisa Jardine, *The Curious Life of Robert Hooke. The Man who measured London* ; éd. Harper Perennial, Londres, 2003.

[A46] Sir James Jeans, *L'Evolution des sciences physiques* ; éd. Payot, Paris, trad. René Sudre, 1950.

[A47] Pierre-Simon de Laplace, *Précis de l'histoire de l'astronomie* ; éd. Vve Courcier, 1821.

[A48] Isabelle Stengers, *La Guerre des sciences aura-t-elle lieu ? Scientifiction* ; Seuil, coll. Les empêcheurs de penser en rond, Paris, 2001.

Naissance de la physique contemporaine (XIX^e - XX^e siècles)

Sources primaires

[A49] Ernst Mach, *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, 1904 ; éd. Jacques Gabay, Paris, 1987.

[A50] James C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism* ; éd. Clarendon Press, Oxford, 1873.

[A51] Albert Einstein, *La Relativité*, 1923 ; éd. Payot & Rivages, Paris, trad. Maurice Solovine, 2001

[A52] Louis De Broglie, *Nouvelles perspectives en microphysique* ; éd. Albin Michel, Paris, 1956.

[A53] Max Planck, *Electromagnétisme* (*Einführung in die Theorie der Elektrizität und des Magnetismus*, 1928) ; éd. Félix Alcan, Paris, trad. Edouard Labin, 1939.

Sources secondaires

[A54] René Dugas, *La Théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes* ; éd. Du Griffon, Neuchâtel, Suisse, 1959.

Ouvrages et articles épistémologiques

[B1] Daniel Andler, Anne Fagot-Largeault et Bertrand Saint-Sernin, *Philosophie des sciences* tomes I et II ; éd. Gallimard, col. Folio / Essais, Paris, 2002.

[B2] Gaston Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*, 1938 ; éd. Vrin, Paris, 2004.

[B3] Gaston Bachelard, *L'Engagement rationaliste* ; éd. PUF, Paris, 1972.

[B4] Gaston Bachelard, *Le Nouvel esprit scientifique*, 1934 ; éd. PUF, coll. Quadrige, Paris, 1999.

[B5] Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*, 1940 ; éd. PUF, coll. Quadrige, Paris, 2008.

[B6] Anouk Barberousse (anthol.), *L'Expérience* ; éd. Gallimard Flammarion, Paris.

[B7] Jacques Bouveresse, *Prodiges et vertiges de l'analogie* ; éd. Liber, Montréal (Québec), 1999.

[B8] Jacques Bouveresse, « La Philosophie naturelle de Boltzmann » *Philosophie Scientiae*, 3, n°2 (1998-1999).

[B9] Georges Canguilhem, *Le Normal et le pathologique*, 1943 ; éd. PUF, coll. Quadrige, Paris, 1999.

[B10] Jean Cavaillès, *Sur la logique et la théorie de la science*, 1946 ; éd. Vrin, Paris, 2008.

- [B11] Alan F. Chalmers, *Qu'est-ce que la science ? (What is this thing called science ? 1976)* ; éd. Livre de poche, Paris, trad. Michel Biezunski, 2006.
- [B12] Auguste Comte, *Premiers cours de philosophie positive : Préliminaires généraux et philosophie mathématique*, 1830 ; éd. PUF, Paris, 2007.
- [B13] Paul Feyerabend, *Dialogues sur la connaissance*, 1989 ; éd. Seuil, Paris, 1996.
- [B14] Ludwik Fleck, *Génèse et développement d'un fait scientifique (Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache, 1935)* ; éd. Les Belles lettres, Paris, trad. Nathalie Jas, 2005.
- [B15] Nelson Goodman, *Manière de faire des mondes (Ways of worldmaking, 1978)* ; éd. Folio, coll. Folio essais, Paris, trad. Marie-Dominique Papelard, 2006.
- [B16] Carl Hempel, *Eléments d'épistémologie (Philosophy of Natural Science, 1966)* ; éd. Armand Colin, Paris, 2006.
- [B17] Pierre Jacob (anthol.), *De Vienne à Cambridge. L'Héritage du positivisme logique* ; éd. Gallimard, coll. Tel, Paris, 1980.
- [B18] Imre Lakatos, *Histoire et Méthodologie des sciences*, 1978 ; éd. PUF, Paris, 1994.
- [B19] Dominique Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* ; éd. PUF, Paris, 2006.
- [B20] Henri Poincaré, *La Valeur de la science*, 1905 ; éd. Champs Flammarion, Paris, 1968.
- [B21] Henri Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, 1902 ; éd. Champs Flammarion, Paris, 2007.
- [B22] Henri Poincaré, *Science et Méthode*, 1908 ; éd. Kimé, Paris, 1999.
- [B23] Henri Poincaré, *Dernières pensées* ; éd. Flammarion, Paris, 1913.
- [B24] Jean Piaget, *Introduction à l'épistémologie génétique. Tome II: La pensée physique* ; éd. PUF, Paris, 1950.
- [B25] Jean Piaget, « Les Méthodes de l'épistémologie », in *Logique et connaissance scientifique*, éd. Gallimard NRF, coll. Encyclopédie de la Pléiade, Paris, 1967, pp. 62—132.
- [B26] Jean Piaget, « Les Données génétiques de l'épistémologie physique », *idem*, pp. 599—622.
- [B27] Karl Popper, *La Quête inachevée (Unended quest, 1986)* ; éd. Pocket, coll. Agora, Paris, 1989.
- [B28] K. Popper, *La Logique de la découverte scientifique (The Logic of Scientific Discovery, 1934)*, éd. Payot, Paris, 2007.
- [B29] Karl R. Popper, *L'Univers irrésolu, plaidoyer pour l'indéterminisme (The Postscript to the Logic of Scientific Discovery II. The Open Univers, 1982)* ; éd. Hermann, Paris, 1984.
- [B30] Hilary Putman, « Ce que les théories ne sont pas », in *De Vienne à Cambridge. L'Héritage du positivisme logique* ; éd. Gallimard, coll. Tel, Paris, 1980.
- [B31] William Van Orman Quine, « Les Deux Dogmes de l'empirisme », in *De Vienne à Cambridge. L'Héritage du positivisme logique* ; éd. Gallimard, coll. Tel, Paris, 1980.
- [B32] Bertrand Russell, *Les Problèmes de la philosophie (The Problems of Philosophy, 1912)* ; éd. Payot, Paris, trad. François Rivenc, 2005.
- [B33] Bertrand Russell, *Science et religion (The Problems of Philosophy, 1912)* ; éd. Folio, coll. Folio essais, Paris, trad. Philippe-Roger Mantoux, 1990.
- [B34] William C. Wimsatt, *Re-engineering Philosophy for Limited Beings* ; éd. Harvard University Press, Harvard, 2007.
- [B35] Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, 1922 ; éd. Gallimard, coll. Tel, Paris, trad. Gilles-Gaston Granger, 2011.

Ouvrages didactiques

Ouvrages en langue française

- [C1] Jean-Pierre Astolfi et Michel Develay, *La Didactique des sciences* ; éd. PUF, coll. Que sais-je ?, 1989.
- [C2] Jean-Pierre Astolfi, Brigitte Peterfalvi et Anne Vérin, *Comment les enfants apprennent les sciences ?* éd. Retz, Paris, 1998.
- [C3] Jean-Pierre Astolfi, *L'Ecole pour apprendre* ; éd. ESF, Paris, 1992.

- [C4] Jean-Pierre Astolfi, Eliane Darot, Yvette Ginsburger-Vogel et Jacques Toussaint, *Mots-clés de la didactique des sciences* ; éd. De Boeck, Bruxelles, 2008.
- [C5] Christian Buty et Christian Plantin (dir.), *Argumenter en classe de sciences* ; éd. INRP, Lyon, 2008.
- [C6] Jacques Désautels et Marie Larochelle, *Qu'est-ce que le savoir scientifique ?* ; éd. Presses de l'université de Laval, Québec, 1989.
- [C7] André Giordan, *Une didactique pour les sciences expérimentales* ; éd. Belin, col. Guide Belin de l'enseignement, Paris, 1999.
- [C8] André Giordan et Gérard De Vecchi, *Aux Origines du savoir (Les Origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques, 1987)* ; éd. Ovidia, Nice, 2012.
- [C9] Wynne Harlen, *Enseigner les sciences : comment faire ? (Primary science : Taking the plunge, 1985)* ; éd. Le Pommier, Paris, 2004.
- [C10] Wynne Harlen et Pierre Léna (dir.), *10 Notions-clés pour enseigner les sciences* ; éd. Le Pommier, Paris, 2011.
- [C11] Samuel Joshua et Jean-Jacques Dupin, *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* ; éd. PUF, Paris, 1993.
- [C12] Ludovic Morge et Jean-Maire Boilevin (dir.), *Séquences d'investigation en physique-chimie* ; éd. Scérén, CRDP Auvergne, clermont-Ferrant, 2007.
- [C13] Christian Orange, *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe* ; éd. De Boeck, Bruxelles, 2012.
- [C14] Guy Robardet et Jean-Claude Guillaud, *Éléments de didactiques des sciences physiques* ; éd. PUF, Paris, 1997.
- [C15] Gérard de Vecchi, *Enseigner l'expérimental en classe* ; éd. Hachette éducation, Paris, 2006.
- [C16] Laurence Viennot, *En Physique, pour comprendre* ; éd. EDP Sciences, Paris, 2011.
- [C17] Laurence Viennot, *Raisonner en physique, la part du sens commun* ; éd. De Boeck, coll. Pratiques pédagogiques, Bruxelles, 1996.

Articles et revues francophones

Revue Aster :

- [C18] Aster, numéro thématique *Apprendre les sciences* ; INRP, n°1, A. Vérin et Y. Ginsburger-Vogel (dir), 1985.
- [C19] Aster, numéro thématique *Modèle et modélisation* ; INRP, n°7, A. Vérin et Y. Ginsburger-Vogel (dir), 1988.
- [C20] Aster, numéro thématique *Expérimenter, modéliser* ; INRP, n°8, A. Vérin et Y. Ginsburger-Vogel (dir), 1989.
- [C21] Aster, numéro thématique *L'élève épistémologue* ; INRP, n°12, A. Vérin et Y. Ginsburger-Vogel (dir), 1991.
- [C22] Aster, numéro thématique *Raisonner en sciences* ; INRP, n°14, A. Vérin et Y. Ginsburger-Vogel (dir), 1992.
- [C23] Aster, numéro thématique *Les sciences de 2 à 10 ans* ; INRP, n°31, C. Orange et E. Plé (coord.), 2000.
- [C24] Aster, numéro thématique *Problème et problématisation* ; INRP, n°40, C. Orange (coord.), 2005.
- [C25] Aster, numéro thématique *Représentations graphiques dans l'enseignement scientifique et technologique* ; INRP, n°48, C. Buty et B. Peterfalvi (coord.), 2009.

Revue Didaskalia :

- [C26] Didaskalia, numéro thématique *Enseignement des sciences et des techniques à l'école élémentaire* INRP, n°7, Martine Méheut, Jacques Besançon et Andrée Tiberghien(coord.), 1995.
- [C27] Didaskalia, numéro thématique *L'Expérimental dans l'enseignement des sciences* ; INRP, n°9, Louise Guilbert (coord.), 1996.
- [C28] Yves Gingras et Benoît Godin, Expérimentation, instrumentation et argumentation ; *Didaskalia*, numéro thématique *Expérimentation et Modélisation*, n°11, 1997, pp. 149-160.
- [C29] Ludovic Morge, Caractérisation des phases de conclusion dans l'enseignement scientifique ; *Didaskalia*, numéro thématique *Les sciences dans l'enseignement secondaire*, n°18, 2001, pp. 99-120.

Revue RDST :

[C30] RDST, numéro thématique *Opinions et savoirs* ; INRP, n°1, Yann Lhoste et Yves Girault (coord.), 2010.

[C31] RDST, numéro thématique *Sciences des scientifiques et sciences scolaires* ; INRP, n°2, Christian Orange et Virginie Albe (coord.), 2010.

[C32] Jean-Louis Martinand, « Introduction à la modélisation », in *Actes de l'Université d'été Tecne*, E.N.S. Cachan, 6-10 juillet 1998. Accessible sur le site de l'INRP :

<http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/TicD.htm> (consulté août 2014).

Ouvrages et articles anglophones

[C33] Actes du colloque *Science Studies and Science Education : How Science work and how to teach it*, 23-25 juin 2011, Université de Aarhus, Danemark. Résumés accessibles en ligne (consulté août 2013) : http://www.eshs.org/images/aarhus/aarhus%20program_abstracts_2011_v6.pdf

[C34] Actes du colloque Esera 2011, Laurence Maurines et Andreas Redfors (dir.)

Nature of science, History, Philosophy, Sociology of Science ; Esera EBook, Part. 5, 2011. Accessible en ligne : <http://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/science-learning-and-citizenship-proceed/strand-5/> (consulté août 2014).

[C35] S. K. Abell et N.G. Lederman (dir.), *Handbook of research in Science Education* ; éd. Lawrence Erlbaum Associates, Philadelphia, 2007.

[C36] C. A. Chinn et B. A. Malhotra. Epistemologically Authentic Inquiry in Schools : A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86 (2), 2002, pp. 175-218.

[C37] D. Kuhn, Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94(5), 2002, pp. 810-824.

[C38] N.G. Lederman. Nature of science : past, present, and future. In S. K. Abell & N.G. Lederman (Eds), *Handbook of research on science education*, éd. Lawrence Erlbaum Associates, Philadelphia, 2007, pp. 831-879.

[C39] N. G. Lederman, F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell et R.S. Schwartz, R. S. Views of nature of science questionnaire : Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 2002, pp. 497-521.

[C40] K.E. Metz. Children's Understanding of Scientific Inquiry : Their Conceptualization of Uncertainty in Investigations of Their Own Design. *Cognition and Instruction*, 22 (2), 2004, pp. 219-290.

[C41] J. Osborne, S. Collins, M. Ratcliffe, R. Millar, R. et R. Duschl. What "ideas-about-science" should be taught in school science ? A Delphi study of the Expert Community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (7), 2003, pp. 692-720.

[C42] J. Osborne, S. Simon et S. Collins. Attitudes towards science : A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25 (9), 2003, pp. 1049-1079.

[C43] W.A. Sandoval. Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89, 2005, pp. 634-656.

[C44] W.A. Sandoval et B.J. Reiser. Explanation-driven inquiry : Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 2004, pp.345-372.

[C45] M. Windschitl, K. Dvornich, A. Ryken, M. Tudor et G. Koehler. A Comparative model of field investigations: Aligning school science inquiry with the practices of contemporary science. *School Science and Mathematics*, 107 (1), 2007, pp. 382-390.

[C46] M. Windschitl, J. Thompson et M. Braaten. Beyond the scientific method : Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigation. *Science Education*, 92 (5), 2008, pp. 941-967.

Documents officiels

[D1] *Bulletin Officiel*, n°1 du 5 janvier 2012, NOR MENE1131499A.

[D2] *Bulletin Officiel*, Hors-série n°3 du 19 juin 2008, NOR MENE0813240A.

[D3] *Bulletin Officiel spécial*, n°6 du 28 août 2008, NOR MENE0817023A.

- [D4] *Découvrir le monde à l'école maternelle. Le vivant, la matière, les objets*
Ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Direction de l'enseignement primaire, Académie des sciences - La Main à la Pâte, Académie des technologies éd. CNDP, coll. Textes de référence, Documents d'accompagnement des programmes, 2005.
- [D5] *Enseigner les sciences à l'école. Accompagnement des programmes, cycle 1,2 et 3*
Ministère de la Jeunesse, de l'Education nationale et de la Recherche, Direction de l'enseignement scolaire, Académie des sciences - La Main à la Pâte
éd. CNDP, col. Textes de référence, Documents d'accompagnement des programmes, 2002.
- [D6] *Guide méthodologique. La Démarche d'investigation, comment faire en classe ?*
Edith Saltiel . Publication en ligne le 21/10/2005 sur le site de la Main à la Pâte :
www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe
(consulté août 2014)
- [D7] *L'Enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Conseil pour les enseignants*
Edith Saltiel, Karen Worth et Mauricio Duque. Publication en ligne le 16/12/2009 sur le site de pollen-seed cities for science, disponible sur le site de la Main à la Pâte :
www.fondation-lamap.org/fr/page/11941/lenseignement-des-sciences-fond-sur-linvestigation
(consulté août 2014).
- [D8] *Teacher Professional Development in Pre-Secondary School Inquiry-Based Science Education*
Inter Academic Panel, Wynne Harlen et Jorge E. Allende (dir.), 2009. Accessible sur le site de l'IAP :
www.interacademies.net/12238/2951/12250/9348.aspx (consulté août 2014).
- [D9] *Report of the Working Group on International Collaboration in the Evaluation of Inquiry-Based Science Education (IBSE)*. Inter Academic Panel, 2006.
Accessible sur le site de l'IAP : <http://www.interacademies.net/7078.aspx> (consulté août 2014).
- [D10] *National Science Education Standards*
National Research Council , National Committee for Science Education Standards and Assessment ; éd. National Academy Press, Washington, DC, 1996.
- [D11] *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*.
National Research Council. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. R.A. Duschl, H.A. Schweingruber et A.W. Shouse (dir.). Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education ; éd. National Academy Press, Washington, DC, 2007.
- [D12] *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*
National Research Council. Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education ; éd. National Academy Press, Washington, DC, 2012.

Ouvrages réflexifs de scientifiques éminents

- [E1] Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, 1865 ; éd. Garnier-Flammarion, Paris, 1966.
- [E2] Léon Brillouin, Léon, *La Science et la théorie de l'information (Science and Information Theory, 1956)* ; éd. Jacques Gabay, Paris, 1988.
- [E3] Léon Brillouin, *Scientific Uncertainty and Information* ; éd. Academic Press, Londres, 1964.
- [E4] Louis de Broglie, *Savants et découvertes* ; éd. Albin Michel, Paris, 1956.
- [E5] Albert Einstein et Léopold Infeld, *L'Evolution des idées en physique (Evolution of ideas in Physics, 1936)* ; éd. France Loisirs, Paris, trad. Maurice Solovine, 1983.
- [E6] Richard, P. Feynman, *La Nature de la Physique (The Caractere of Physical Laws, 1967)* ; éd. du Seuil, Paris, 1980.
- [E7] Richard P. Feynman, *Vous voulez rire Monsieur Feynman (Surely you're joking, Mr. Feynman! 1985)* ; éd. Odile Jacob, Paris, 2007.
- [E8] Richard, P. Feynman, *Vous y comprenez quelque chose Monsieur Feynman ? (The Meaning of it All : Thoughts of a Citizen Scientist, 1963, première édition en 1998)* ; éd. Odile Jacob, Paris, 1998.
- [E9] Paul Langevin, *La Pensée et l'action* ; Editions Sociales, Paris, Textes recueillis et présentés par Paul Labérenne, 1964.

[E10] Jean-Marc Lévy-Leblond, *Aux contraires. L'exercice de la pensée et la pratique de la science* ; éd. Gallimard, Paris, 1996.

[E11] Jean-Marc Lévy-Leblond, *La Pierre de touche. La science à l'épreuve...* ; éd. Folio, coll. Folio essais, Paris, 1996.

[E12] Max Planck, *Autobiographie scientifique* ; éd. Albin Michel, Paris, 1960.

[E13] Jean Rostand, *Hommes d'autrefois et d'aujourd'hui* ; éd. Gallimard NRF, Paris, 1966.

[E14] Charles H. Townes, *Making Waves* ; éd. AIP Press, New York, 1994.

Ouvrages de vulgarisation et d'enseignement des sciences

[F1] Richard P. Feynman, *Lumière et matière (QED, The Strange Theory of light and Matter, 1985)* éd. InterEditions, coll. Points sciences, Paris, trad. Françoise Balibar et Alain Laverne, 1987.

[F2] Christian Gérini, *Henri Poincaré : Ce que disent les choses* ; éd. Hermann, Paris, 2010.

[F3] Jean-Marc Lévy-Leblond, *Impasciences* ; éd. Bayard, Paris, 2000.

[F4] Jean-Marc Lévy-Leblond, *A quoi sert la science ?* ; éd. Bayard, Paris, 2008.

[F5] William Seabrook, *Doctor Wood, Modern Wizard of the Laboratory* ; éd. Harcourt Brace, New York, 1941.

[H2] Nicolas Witkowski, *Dictionnaire culturel des sciences* ; éd. Seuil, coll. Regard, Paris, 2001.

Controverses scientifiques, non science et fraudes scientifiques

[G1] Isaac Asimov, *Les Moissons de l'intelligence (The Roving Mind, 1983)* ; éd. Book-e-book, Nice, 1990.

[G2] Charles Babbage, *Reflections on the Decline of Science in England* ; éd. B. Fellowes, Londres, 1830.

[G3] Jacques Bouveresse, *Qu'appellent-ils penser ?*

Conférence du 17 juin 1998. Accessible sur le site de l'université de Genève

http://athena.unige.ch/athena/bouveresse/bouveresse_penser.html (consulté août 2014)

[G4] Georges Charpak et Henri Broch, *Devenez sorciers, devenez savants* ; éd. Odile Jacob, Paris, 2002.

[G5] Richard P. Feynman, *The Pleasure of Finding Things Out* ; éd. Helix Books, Massachusetts, 2000.

[G6] Walter Gratzer, *The Undergrowth of science. Delusion, self-deception & human frailty* ; éd. Oxford Univ. Press, 2000.

[G7] Irving Langmuir et Robert N. Hall, « Pathological Science » (Colloque au Knolls Research Laboratory, 1953) ; *Physics today*, vol. 42, n°10, 1986, p.36.

[G8] Dominique Lecourt, *Lyssenko. Histoire réelle d'une "science prolétarienne"*(1975) ; éd. PUF, coll. Quadrige, 1996.

[G9] Tony Rothman, *Everything's relative & other fables from science and technology* ; éd. Wiley, Hoboken (New Jersey), 2003

[G10] Alain Sokal, « Transgressing the Boundaries : Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity », *Social Text*, 1996, pp. 217-252.

[G11] Alain Sokal et Jean Bricmont, *Impostures intellectuelles* ; éd. Odile Jacob, Paris, 1997

[G12] Isabelle Stengers, « Mésaventures du pacte anti-fictionnel », in *Mensonge, mauvaise foi et mystification* ; éd. Vrin, Paris, coordination scientifique Thierry Lenain, 2004, pp. 15-29.

[G13] Elisabeth Teissier, *L'homme d'aujourd'hui et les astres - fascination et rejet* ; éd. Plon, Paris, 2001.

[G14] Pierre Thuillier, *La Revanche des sorcières. L'Irrationnel et la pensée scientifique* ; éd. Belin, Paris, 1997.

Divers

[H1] Georges Perec, *Cantatrix sopranica L.*, 1974 ; éd. Seuil, coll. Points essais, Paris, 2007.

[H2] Robert Heinlein, *The Notebooks of Lazarus Long*

Partie 5

Critères de scientificité et science scolaire

Après une discussion de la pertinence de la notion de « critères de scientificité » dans un contexte très éloigné de celui de la science professionnelle et de leur possible utilisation dans un contexte scolaire (5.1), on identifiera un jeu d'éléments de scientificité pertinents pour l'école primaire (5.2.) et on en discutera la formulation précise et les conditions d'application (5.3). On évaluera leur capacité discriminante, au regard de quelques situations scientifiques, techniques, pseudo-scientifiques ou pathologiques (5.4.) et leur pertinence à l'école (5.5.). Enfin, la construction de définitions de la science scolaire à partir de jeux de critères et les implications épistémologiques et didactiques d'une telle approche (5.6.) seront présentées.

5.1. Des critères de scientificité pour la science scolaire ?

Pour connaître convenablement ce qu'une chose est, nous avons besoin de connaître avec une égale netteté ce qu'elle n'est pas.

John Stuart Mill, *Auguste Comte et le positivisme*¹

Que de dangers, que de fausses routes dans l'investigation des Sciences ! Par combien d'erreurs, mille fois plus dangereuses que la vérité n'est utile, ne faut-il point passer pour arriver à elle ! Le désavantage est visible : car le faux est susceptible d'une infinité de combinaisons ; mais la vérité n'a qu'une manière d'être. Qui est-ce d'ailleurs qui la cherche bien sincèrement ? Même avec la meilleure volonté, à quelles marques est-on sûr de la reconnoître ? Dans cette foule de sentimens différens, quel sera notre criterium pour en bien juger ?

Jean-Jacques Rousseau, *Discours sur les sciences et les arts*²

Nous avons défini la culture scientifique comme une “culture savante”, c’est-à-dire dotée d’instruments consensuels de sélection des objets culturels qui l’habitent.

Pour la science professionnelle en train de se faire, les instruments à l’œuvre sont multiples ; la sociologie des sciences insiste en particulier sur l’évaluation entre pairs, réalisée par l’intermédiaire de revues professionnelles, de colloques, selon des procédures et des critères évolutifs et variables selon le domaine, au point qu’aucun critère de scientificité universel ne peut être envisagé. Fins connaisseurs des pratiques de leurs spécialités, les chercheurs s’y conforment — et parfois les dépassent — sans avoir besoin de s’interroger souvent sur la nature même de la science : ils sont eux-mêmes partie prenante de la “subjectivité collective” dont émane la culture scientifique.

Il en va différemment en-dehors de la communauté scientifique. À l’école, ni les enseignants ni les élèves ne participent *a priori* de cette subjectivité collective scientifique. Pour reconnaître par eux-mêmes, en tant que tel, un objet culturel scientifique, ils doivent donc pouvoir faire appel à des critères explicites et opératoires à leur niveau — la seule alternative étant de s’en remettre à une autorité extérieure, comme (dans le meilleur des cas) celle des manuels.

Cette option “d’autorité” même disparaît lorsqu’il s’agit de (re)construire des éléments culturels (e.g. une loi physique) dans le cadre d’une démarche d’investigation : la première sélection est alors celle de la *recevabilité*, ou non, du point de vue scientifique, de leurs propres travaux et résultats.

1. John Stuart Mill, *Auguste Comte et le positivisme* (*Auguste Comte and Positivism*, 1865), éd. Germer Baillères, Paris, 1868, p. 9.

2. Jean-Jacques Rousseau, *Discours sur les sciences et les arts*, 1750. En ligne : http://fr.wikisource.org/wiki/Discours_sur_les_sciences_et_les_arts (consulté août 2014).

5.1.1. DEFINITION ET EMPLOI

1.1.1. Objet

Un critère de scientificité est un test objectif qui permet de faire un tri en termes de scientificité, entre démarches et travaux *recevables* par la communauté scientifique, d'une part, et démarches et travaux *non recevables* d'autre part.

Il ne concerne pas la *vérité* (dans le cas d'un énoncé) ou la *valeur* (d'un résultat ou d'une expérience), et encore moins l'*importance* des travaux auxquels on l'applique. Il peut donc être appliqué en dehors de la communauté scientifique *stricto sensu*, à des travaux scolaires par exemple, ou encore à des productions de communautés à la scientificité douteuse, comme celle des astrologues.

1.1.2. Définition et emploi

Un critère (ou, dans le langage philosophique, un *criterium*) est, d'après le dictionnaire de Littré, une « *Marque qui fait discerner, juger.* » Par exemple : « *Le criterium de la vérité.* »

Un critère de scientificité est donc, idéalement, une marque permettant de discerner, parmi les productions auxquelles on l'applique, celles qui peuvent être reçues comme scientifiques, et celles qui ne le peuvent pas.

Concrètement, il se présente sous la forme d'un énoncé testable, associé à un test dont le résultat peut être soit positif, soit négatif. Lorsque le test est applicable à une production donnée, celle-ci ne peut être considérée comme scientifique si elle y échoue. Si le résultat du test est positif, la production peut être présumée recevable en termes de scientificité, *pour le critère considéré et sous réserve de satisfaire également à tous les autres critères pertinents.*

Un critère de scientificité est donc une *condition nécessaire* de la scientificité de la production considérée, mais non³ une condition suffisante.

Concrètement, plutôt que d'un critère unique, on disposera d'un jeu, idéalement complet, de critères de scientificité applicables aux différents types de productions potentiellement scientifiques. Pour une production donnée, il s'agira donc d'abord de déterminer les critères qui lui sont applicables, et dont le test est réalisable.

Ce n'est que dans le cas où les résultats des tests de *tous* les CS applicables sont *tous* positifs qu'on pourra la considérer comme recevable en termes de scientificité.

1.1.3. Utilisation par l'enseignant et les élèves

Pour un enseignant, il s'agit essentiellement de savoir si ce qu'il fait ou envisage de faire en classe peut être considéré comme scientifique. L'existence d'un jeu de CS lui suffit pour évaluer la scientificité de sa pratique ou de celle de ses élèves.

3. Dans la mesure où l'on ne dispose pas d'un "test de scientificité" unique et universel.

On n'attend pas par contre des élèves qu'ils soient capables de faire ce genre d'exercice. Les programmes n'en font en tout cas pas explicitement mention à l'école primaire. Ils demandent en revanche de « *faire saisir aux élèves la distinction entre faits et hypothèses vérifiables d'une part, opinions et croyances d'autre part /.../ c'est pourquoi les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique* » (B.O., 2008).

Dans ces conditions, les CS peuvent fournir un moyen pour les élèves d'accéder à la compréhension et à l'appropriation de la méthode scientifique *via* l'apprentissage de bonnes pratiques. Ils sont alors plus utilisés sur leur versant "négatif" : s'ils ne sont pas vérifiés, ce que font les élèves ne relèvent pas des bonnes pratiques et n'est pas acceptable en l'état.

5.1.2. UN CONTEXTE SCOLAIRE FAVORABLE

Sur le "front" de la science, des chercheurs, en toute connaissance de cause, doivent parfois assumer le risque de déroger aux règles en vigueur dans leur communauté. Une telle prise de risque n'a pas de sens à l'école où les élèves sont, au contraire, en phase d'apprentissage des "bonnes pratiques" en usage dans la communauté. Les difficultés d'application des CS posées par les pratiques de la science en train de se faire y sont donc inexistantes.

Par ailleurs, on travaille à l'école sur de la science pré-quantique, voire sur de la science du XVII^e dont on connaît les limites. Les critères proposés par les fondateurs de la science moderne et les critères d'inspiration positiviste y gardent *a priori* leur efficacité pour évaluer la scientificité de ce qui s'y fait, sous réserve d'une adaptation éventuelle au contexte scolaire.

Le contexte scolaire apparaît donc bien plus favorable que celui de la science professionnelle à une approche en termes de CS. La question du refus de l'argument d'autorité, refus constitutif de la science, nécessitera cependant des précautions particulières. À l'école, l'autorité du maître est toujours présente. Il garantit la conformité de ce qui se passe dans la classe aux règles qui ont été fixées.

5.2. Identification et organisation

L'objectif de cette section est d'identifier les critères de scientificité utilisables à l'école primaire. Dans un premier temps, on constitue une liste d'éléments de scientificité sans présumer de leur pertinence pour les pratiques scientifiques actuelles. Dans un second temps, on sélectionne les éléments susceptibles d'être reformulés en critères de scientificité adaptés à l'enseignement des sciences à l'école primaire. Enfin, on catégorise les critères choisis afin de faciliter leur formulation dans la section suivante (§ 5.3.).

5.2.1. IDENTIFICATION DES ELEMENTS DE SCIENTIFICITE

Une synthèse du corpus faisant apparaître les critères de scientificité utilisés par les scientifiques importants de l'histoire ou par les philosophes des sciences et par les didacticiens a été présentée dans l'État des lieux (sections 2.3.1.1., 2.3.1.2., 2.3.2.3. & 2.3.3, respectivement). On se contentera ici de les mentionner de nouveau dans l'ordre de leur apparition dans la synthèse. Pour limiter les redondances, une fois un élément de scientificité identifié, il n'est plus reprécisé par la suite.

2.1.1. Corpus historique

Période aristotélicienne

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
		Cohérence interne Cohérence externe	Apodicticité Respect de la logique Cohérence interne	Construction collective

Tableau 2.1.1.a : Éléments de scientificité apparus à la période aristotélicienne

Période scolastique

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
Primauté de l'expérience Objet physique distinct de ses représentations	Principe d'économie		Autonomie de la physique	

Tableau 2.1.1.b : Éléments de scientificité apparus à la période scolastique

Période copernicienne

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
Transmission	Documentation exhaustive Reproductibilité		Principe de simplicité	

Tableau 2.1.1.c : Éléments de scientificité apparus à la période copernicienne

Période galiléenne et cartésienne

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
Navigation entre général et particulier	Opportunité des expériences Maîtrise de l'instrumentation	Véhicule des connaissances spécifiques Cohérence formelle Cohérence lexicale et symbolique	Langage scientifique univoque Non scolasticité	Séparation de la religion et de la science Ambition encyclopédique

Tableau 2.1.1.d : Éléments de scientificité apparus aux périodes galiléenne et cartésienne

Période newtonienne

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
Identification et rejet de mauvaises pratiques Renoncement à la recherche des causes premières Méthode hypothético-déductive			Recherche de lois robustes	

Tableau 2.1.1.e : Éléments de scientificité apparus à la période newtonienne

Naissance de la physique contemporaine

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
		Relativité des discours scientifiques	Principe d'économie	

Tableau 2.1.1.f : Éléments de scientificité apparus à la naissance de la physique contemporaine

2.1.2. Corpus épistémologique

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
Distinction consciente entre le monde physique et ses représentations Honnêteté intellectuelle Ténacité Résoudre des problèmes	Robustesse		Efficacité Fécondité Pouvoir explicatif des théories Concordance avec la réalité Efficacité heuristique des théories Vérifiabilité Testabilité Réfutabilité Rejet de l'argument « <i>ad hoc</i> » Robustesse	

Tableau 2.1.2. : Éléments de scientificité extraits du corpus épistémologique

2.1.3. Corpus didactique

Les didacticiens des sciences n'ayant *a priori* pas vocation à se substituer aux épistémologues, les éléments de scientificité qu'ils considèrent pour tenter de définir une science scolaire s'inspirent très largement de ceux mis en œuvre par

les scientifiques et les épistémologues. On peut en particulier considérer que la didactique des sciences anglo-saxonne s'inspire traditionnellement de John Dewey ; la tradition française quant à elle cherche volontiers ses sources chez Gaston Bachelard et Jean Piaget.⁴ Pour autant, la prise en compte des contraintes pédagogiques et de la variété des contextes disciplinaires à l'école les amène souvent à chercher des formulations plus globales.

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation et théorisation	Généralités sur la science
Diversité de méthodes Questionnement Hypothèse Prédiction Coopération	Analyse des données	Problématisation Construction d'explications	Modélisation Argumentation	Provisoire Subjectivité Ancrage social et culturel Imagination et créativité Variété des formes de connaissance Degré de certitude variable Présomption de causalité

Tableau 2.1.3. : Éléments de scientificité extraits du corpus didactique

2.1.4. Corpus para-scientifique

Les éléments de scientificité dégagés dans « l'État des lieux » dérivait pour l'essentiel d'analyses historiques, épistémologiques ou didactiques de projets réussis et effectivement "scientifiques" ou au moins susceptibles d'être considérées comme tels à une période donnée. L'objet de cette section est au contraire d'examiner les éléments de scientificité en jeu dans des projets qui, à divers titres, ne peuvent être considérés comme scientifiques.

2.1.4.1. "Rayons N" et science pathologique

Une configuration particulièrement intéressante est celle de la « science pathologique », selon l'expression du prix Nobel de chimie Irving Langmuir.⁵ Elle concerne des professionnels de la recherche scientifique dont ni la compétence, ni l'intégrité ne sont en cause, et dont les travaux sensationnels entraînent la créations de communautés entières de chercheurs et, parfois, la publications de milliers d'articles académiques, alors même que les phénomènes revendiqués ne semblent pas réellement exister.⁶

Deux exemples classiques, analysés par Langmuir, sont les soi-disant "Rayons N" découverts en 1904 par René Blondlot,⁷ par ailleurs excellent physicien de l'Université de Nancy,⁸ et les expériences menées par J.B. Rhine sur la parapsychologie, à la prestigieuse Université de Duke, dans les années

4. Jean-Pierre Astolfi & Michel Develay, *La Didactique des sciences*, coll. Que sais-je ?, éd. PUF, Paris, 1989, p. 21.

5. Irving Langmuir et Robert N. Hall, « Pathological Science » (Colloque au Knolls Research Laboratory, 1953) ; *Physics Today*, vol. 42, n°10, 1989, pp. 36-48.

6. La simple publication de résultats erronés ne relève donc pas *a priori* de la science pathologique. Bien au contraire, si une controverse entraîne un processus de contrôle et une rectification *a posteriori* par leurs auteurs, l'aventure peut constituer un modèle de scientificité.

7. P. Thuillier, « La Triste histoire des rayons N ». *La Recherche*, 1978, n°9, pp. 1093-1101.

8. Capitale de la Lorraine, alors disputée entre la France et l'Allemagne. Les passions nationalistes semblent avoir joué un rôle significatif, dans la mesure où le "N" des rayons est une référence directe au nom de la ville.

1930 à 1950.⁹ Plus près de nous, on pourrait également évoquer les affaires de la fusion froide par voie chimique^{10,11} ou de la « mémoire de l'eau »¹².

Langmuir identifie un jeu de symptômes de la science pathologique :

- (a) L'effet maximum observé est produit par une cause dont l'intensité est à peine détectable, et son importance de l'effet est substantiellement indépendante de l'intensité de la cause.
- (b) La magnitude de l'effet demeure proche de la limite de la détectabilité ; ou de nombreuses mesures sont nécessaires du fait de la très basse signification statistique des résultats.
- (c) Revendication d'une grande précision.
- (d) Des théories fantastiques contraires à l'expérience sont suggérées.
- (e) Des excuses *ad hoc* sont conçues au vol en réponse aux critiques.
- (f) Le rapport des partisans et des détracteurs monte aux environs de 50% puis diminue graduellement jusqu'à l'oubli.¹³

Il est *a priori* absolument légitime d'étudier des effets, ou l'influence de paramètres tout juste détectables¹⁴ ; certaines mesures sont effectivement d'une grande précision ; avant de s'imposer, les théories révolutionnaires paraissent souvent "fantastiques" à ceux qui ne les comprennent pas ; une critique nouvelle peut en effet justifier la recherche d'un argument inédit en réponse ; le nombre de partisans d'une théorie ne dit rien de sa scientificité, pas plus que son oubli... En pratique, c'est leur accumulation qui doit éveiller l'attention, sinon la méfiance de la communauté scientifique.

Cette réserve ne peut pas valoir condamnation *a priori* : il s'agit alors de vérifier la scientificité des revendications, selon les critères habituels. Dans une situation typique de science pathologique, où le phénomène étudié n'a pas

9. « Un autre exemple nous est fourni par les expériences de parapsychologie de Rhine. Comme les expériences ont été fortement critiquées — y compris par Rhine lui-même — les techniques mises en œuvre sont devenues de plus en plus performantes et les effets décelés de plus en plus faibles... au point même de disparaître complètement. Les parapsychologues cherchent à réaliser des expériences qui soient reproductibles, où les mêmes causes produisent les mêmes effets, ne serait-ce que statistiquement. Alors ils répètent la même expérience sur des millions de rats — excusez-moi je veux dire de gens. Ils en tirent un effet statistique ; malheureusement la fois suivante cet effet a disparu. » R. Feynman, *Vous voulez rire, Monsieur Feynman ! (Surely You're Joking Mister Feynman !)*, 1985), éd. Odile Jacob, 1985, pp. 357-358.

10. M. Fleischmann and S. Pons, « Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium », *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 1989, vol. 261, pp. 301-308.

11. Walter Gratzer, « Energy Unlimited », in *The Undergrowth of Science*, Oxford Univ. Press, 2000, pp. 111—135.

12. E. Davenas, F. Beauvais, J. Amara, M. Oberbaum, B. Robinzon, A. Miadonnai, A. Tedeschi, B. Pomeranz, P. Fortner, P. Belon, J. Sainte-Laudy, B. Poitevin et J. Benveniste. « Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE », *Nature*, 1988, vol. 333, pp. 816-818. Comme dans le cas des rayons N, l'aventure implique à la fois un usage discutable de l'autorité scientifique (y compris, dans les deux cas, celle de *Nature*) et une contamination du débat scientifique par des passions nationalistes. W. Gratzer s'interroge : « Pourquoi *Nature* (un journal élitiste qui rejette comme insuffisamment intéressants jusqu'à 90% des articles qui lui sont soumis) a-t-il décidé de publier les épanchements saugrenus de Benveniste ? En France, beaucoup ont pu imaginer que ce ne pouvait être qu'un piège délibéré de la "perfide Albion" pour ridiculiser la science française. (...) Le magazine *Sciences & Avenir* a ainsi conclu que *Nature* s'était délibérément engagé dans un processus francophobe. » *The Undergrowth of Science*, op. cit., p. 25.

13. Irving Langmuir et Robert N. Hall, « Pathological Science » (Colloque au Knolls Research Laboratory, 1953) ; *Physics Today*, vol. 42, n°10, 1986, p. 36.

14. C'est même une situation fréquente lorsqu'un effet vient d'être identifié.

d'existence physique, ce sont d'abord la **reproductibilité** et la **robustesse** des expériences en cause qui devront être éprouvées.

Pour autant, alors même que le refus de tout argument d'autorité est à la base même de la science moderne, ce test de scientificité s'avère souvent difficile, lorsqu'il s'agit de remettre en cause celle d'un professionnel reconnu, qui engage délibérément son prestige sur ses revendications. Ainsi, lorsque Robert Wood enquête sur « *des phénomènes douteux* », il adopte résolument une posture qui n'est « *ni académique, ni urbaine, ni conventionnelle* »¹⁵.

Robert Wood accepte ainsi de se rendre au laboratoire de René Blondlot comme émissaire pour la prestigieuse revue anglaise *Nature*, lorsque de nombreux physiciens non-lorrains éprouvent des difficultés à reproduire ses expériences sur les rayons N. Sa substitution du prisme lors de la soi-disant observation d'un spectre N, sans modification du résultat, clôt pour une grande partie de la communauté scientifique la controverse.

La notion de science pathologique a été forgée pour rendre compte de dérives spécifiques de la science professionnelle. En pratique, la réputation personnelle de leur promoteurs apparaît comme un élément essentiel de leur réception initiale, quand le simple fait que des expériences apparaissent non reproductibles suffit en général à écarter les revendications d'expérimentateurs moins prestigieux. Elle ne paraît donc pas directement pertinente à l'école,¹⁶ où l'autorité de l'enseignant suffit à empêcher l'emballlement de dérives de cet ordre.

Pour autant, des symptômes similaires à ceux de Langmuir peuvent être observés en classe. En particulier, l'apparition de justifications *ad hoc* n'est pas rare. Si elle ne constitue pas nécessairement un défaut de scientificité, en particulier tant qu'on en reste à des arguments oraux, non "institutionnalisés", il s'agit néanmoins d'une dérive de l'argumentation qu'il est souvent le cas échéant utile de relever, et de corriger. La revendication de mesures excessivement précises se rencontre également lors de Travaux Pratiques, quoique plutôt au lycée ou dans le supérieur qu'à l'école primaire.

2.1.4.2. « Savants fous » et physiciens non scientifiques

Si l'on définit la science moderne par sa méthode, il apparaît possible d'être un excellent physicien, doté d'une intuition puissante et souvent correcte, sans être pour autant un scientifique, faute de cette méthode.

Un exemple historique frappant en est fourni, à la naissance même de la science moderne, par la comparaison entre les pratiques d'un de ses pères fondateurs, Galilée (1564—1642), et de l'un des probables inspirateurs de ce dernier, Giordano Bruno (1576—1600). Tous deux brillants physiciens, les deux hommes défendent souvent des idées très proches, en matière astronomique du moins (modèle héliocentrique, principe de relativité). Une différence fondamentale est leur rapport à la communauté savante (ou à ce qui en tient lieu à l'époque). Pour Galilée, la **communication** des idées et leur appropriation par d'autres sont essentielles, ce qui le conduit à développer des

15. W. Seabrook, *Doctor Wood, Modern Wizard of the Laboratory*, éd. Harcourt, New York, 1941, p. 233. Robert W. Wood (1868-1955) est un scientifique américain de premier plan au début du XX^e siècle. Sa réputation d'ingéniosité en fait un "enquêteur scientifique" souvent sollicité lors de controverses scientifiques ou para-scientifiques, comme celle autour des rayons N. C'est également un écrivain de science-fiction.

16. Sinon à titre anecdotique, "l'histoire" morale des rayons N pouvant être un moyen de désacraliser "les scientifiques" lorsque cela s'avère utile.

stratégies pédagogiques pour y parvenir. En ce sens, Galilée est l'un des fondateurs de la communauté scientifique,¹⁷ alors que Bruno ne peut véritablement être considéré comme un scientifique. C'est un provocateur, solitaire, peu concerné par l'aspect collectif de la science. Il publie effectivement ses idées, mais se soucie peu qu'on les reçoive.¹⁸ Refusant de s'astreindre à **séparer la religion de la science**,¹⁹ il finit sur un bûcher de l'Inquisition.

Giordano Bruno est l'archétype du "savant fou" de la littérature, esprit génial mais coupé de la communauté scientifique voire, plus généralement, du monde.

2.1.4.3. Autonomie de la science : l'affaire Lyssenko

On a déjà évoqué la problématique de l'autonomie de la science au regard, en particulier, de la théologie et des autorités religieuses (§ 2.3.1.1.4.). L'histoire montre que d'autres influences peuvent s'avérer tout aussi importantes, et que les critères de scientificité correspondants s'appliquent aussi bien, en particulier, à l'idéologie politique.

L'exemple le plus patent d'une perte d'autonomie délétère de la science par rapport à la politique est « l'Affaire Lyssenko ». Inventeur en 1929 d'une technique de "vernalisation" favorisant la germination des céréales d'hiver, Trofim Lyssenko (1898—1976) devient un héros de l'U.R.S.S., un prolétarien « professeur aux pieds nus » glorifié par Staline lui-même. À la tête de l'Institut de Génétique de l'Académie des sciences d'U.R.S.S. de 1940 à 1965, il impose le rejet des théories mendéliennes de la transmission chromosomique des caractéristiques d'un végétal au profit d'une théorie néo-lamarckienne de transmission héréditaire de caractéristiques acquises par adaptation à l'environnement. En 1948, toute opinion dissidente est *de facto* interdite par le pouvoir stalinien, avec la fermeture des laboratoires de génétique non-lyssenkistes et la révocation de près de 3 000 chercheurs.²⁰

En France, une vive polémique oppose au même moment des intellectuels liés au Parti Communiste Français, comme Louis Aragon, mais également certains biologistes professionnels, promoteurs automatiques des idées "autorisées" de Lyssenko, à des scientifiques refusant d'inféoder leurs analyses scientifiques à des considérations externes, comme Jacques Monod :

« Si Lyssenko s'est imposé, *c'est qu'il a été cru*. Et s'il l'a été, c'est, à mon avis, au-delà des machinations, des intrigues, des calomnies et des falsifications parce que, dans le ton, dans le style comme dans le fond, ses positions "théoriques" étaient conformes à une certaine tradition idéologique, exaspérée certes par le

17. Voir par exemple l'analyse de Feyerabend du Dialogue sur les deux grands systèmes du monde de Galilée. Paul Feyerabend, *Contre la méthode* (Against Method, 1975), éd. Seuil, coll. Points Sciences, Paris, 1988.

18. Ainsi dans sa dédicace « *À celui qui n'est pas content* », conseille-t-il au lecteur : « *Ne mords pas dans mon pain, s'il te casse les dents ; Ne sème pas, pieds nus, d'épines dans mon champ. Prends garde aux araignées, toi qui n'est qu'un insecte* ». Giordano Bruno, *Le Banquet des cendres* (*La Cena de la ceneri*, 1584), éd. de l'Éclat, coll. Philosophie imaginaire, Paris, trad. Yves Hersant, 2006.

19. Ainsi il traite dans le même ouvrage sur la magie (dans laquelle il inclut les interactions à distance) des propriétés des aimants et de la transsubstantiation eucharistique. G. Bruno, *De la Magie*, éd. Allia, Paris, 2000.

20. Walter Gratzer, « The Climate of Fear », in *The Undergrowth of Science*, Oxford Univ. Press, 2000, pp. 177—218.

culte de la personnalité, mais assimilée au “marxisme” et bien antérieure au stalinisme proprement dit. »²¹

Les risques d’influence directe de l’idéologie politique sur les élèves de l’école primaire semblent assez limités. Ceux-ci sont en effet *a priori* trop jeunes pour une analyse sophistiquée des influences à l’origine de leurs connaissances, toujours largement surpassées par l’autorité du maître et des parents.

En termes accessibles aux enfants, les éléments de scientificité concernés se ramènent donc essentiellement au refus de l’**argument d’autorité**, appliqué aux influences politiques aussi bien qu’aux influences religieuses.

Indirectement, la question se pose toutefois des influences éventuelles sur les enseignants eux-mêmes. En France, un “Principe de neutralité” garantit en principe que les programmes et les enseignements scolaires restent libres d’idéologie politique, même si son application fait parfois polémique, y compris en ce qui concerne les programmes de sciences.²² La situation est toutefois moins claire dans d’autres pays, comme les États-Unis, où la question de l’enseignement du créationnisme, parallèlement à “l’hypothèse concurrente” de l’évolution darwinienne, fait encore fortement débat.²³

2.1.4.4. Postmodernisme et “Impostures intellectuelles”

Une implication de la conception constructiviste des objets scientifiques comme “objets culturels” est qu’il n’existe pas de méthode scientifique unique, mais plutôt une diversité d’éléments de méthode, susceptibles de varier selon l’époque et le contexte. Certains sociologues des sciences se sont, dans les années 1970, défini un “*programme fort*”, selon lequel la formation et le succès des connaissances scientifiques devrait être essentiellement déterminé par des facteurs conceptuels, et de façon symétrique qu’elles soient “vraies” ou “fausses”.²⁴ Poussée à la limite, cette approche peut mener à un relativisme cognitif que certains auteurs associent à la philosophie postmoderne,²⁵ et qui a déclenché des réactions assez vives pour qu’on puisse parler de « guerre des sciences »²⁶.

L’un des épisodes les plus connus de cette guerre est probablement la publication par le physicien Alan Sokal d’un article-canular dans la revue

21. Jacques Monod, « L’Affaire Lyssenko », préface à *Grandeur et chute de Lyssenko*, de J. Medvedev, 1971. Accessible en ligne : http://www.pasteur.fr/infosci/archives/mon/im_lyss1.html (consulté août 2014)

22. Ainsi, la question de l’enseignement du genre dans les programmes de biologie a-t-elle récemment fait débat, certains y voyant une dérive idéologique. Voir par exemple, l’encyclopédie Universalis sur cette question : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/sexe-et-genre-enseigner-les-etudes-sur-le-genre-au-lycee/> (consulté août 2014).

23. Il est relativement difficile d’y faire la part des enjeux et arrière-pensées politiques et religieux. Voir par exemple Dominique Lecourt, « Science, morale et politique », in *L’Amérique entre la Bible et Darwin*, P.U.F. ? coll. Quadrige, 2007.

24. Voir par exemple : Jean-Luc Gautero, « Sociologie de la connaissance scientifique et rationalité », *Noesis*, 5.2, 2003, pp. 175-191 ; accessible en ligne : http://www.academia.edu/893789/Sociologie_de_la_connaissance_scientifique_et_rationalite (consulté août 2014).

25. Alain Sokal, Jean Bricmont. *Impostures intellectuelles*, éd. Odile Jacob, 1997.

26. Jean-Luc Gautero. « Hard science wars », in *Imaginaires scientifiques & hard science fiction*, Sciences & Fictions à Peyresq, n° 4, éd. Somnium, Nice, 2012.

Social Text,²⁷ et l'accusation d'« imposture intellectuelle » portée par Alan Sokal et Jean Bricmont à l'encontre en particulier de philosophes français usant et abusant d'analogies²⁸ et d'un vocabulaire mathématique et physique qu'ils ne maîtriseraient pas réellement.

La controverse ne semble pas faire émerger d'éléments de scientificité nouveaux. Portant sur les marges entre sciences "exactes" et "humaines", elle se réduit aisément, si l'on ramène le propos aux premières, à une simple réaffirmation des exigences traditionnelles de **cohérence lexicale** et **d'économie**.

Là encore, s'il est possible d'identifier dans le florilège de Sokal et Bricmont des procédés parfois similaires à certaines tentatives "d'enfumage" bien connues des enseignants, celles-ci concernent plutôt les lycéens, voire les étudiants du supérieur, que les écoliers.

2.1.4.5. Astrologie et pseudo-sciences

Le terme de « pseudo-science » est, par construction même, péjoratif²⁹ et, dans une large mesure, polémique. Il vise à exclure la pratique considérée du champ d'une science *a contrario* "vraie", ou en tout cas légitime. Paul Feyerabend n'hésite pas à condamner les scientifiques qui abusent alors de leur position d'autorité :

« Vous voyez, je n'aurais pas d'objection si les adversaires de l'astrologie disaient : nous n'aimons pas l'astrologie, nous la méprisons, nous ne lirons jamais de livres qui la concernent et nous n'allons certainement pas l'aider. C'est tout à fait légitime. /.../ Mais nos scientifiques rationnels et objectifs ne font pas qu'exprimer leurs goûts et leurs dégoûts. Ils font comme s'ils avaient des arguments et se servent de leur autorité considérable pour leur donner du poids. Mais les arguments qu'ils utilisent réellement démontrent leur inculture pitoyable... »³⁰

Sur quels critères plus objectifs pourrait-on se baser pour disqualifier des pratiques que la communauté scientifique tient quasi-unaniment pour fantaisistes ? Ce critère ne saurait être le manque de légitimité scientifique de leurs praticiens : il suffit de rappeler que Newton a consacré plus de temps de recherche à l'alchimie qu'à la physique, et que les fondateurs mêmes de l'astronomie moderne, comme Tycho Brahe, Kepler et Galilée ont porté le titre d'Astrologue.^{31,32}

Cette difficile question a fait de l'astrologie, en particulier, la pierre de touche des critères de scientificité proposés au XX^e siècle. Ainsi, Popper considérant

27. Alain Sokal, « Transgressing the Boundaries : Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity », *Social Text*, 1996, pp. 217-252. Accessible en ligne :

http://www.physics.nyu.edu/sokal/transgress_v2/transgress_v2_singlefile.html (consulté août 2014)

28. Sur l'usage des analogies, voir par exemple Jacques Bouveresse, *Prodiges et vertiges de l'analogie*, éd. Liber, coll. Raisons d'agir, Québec, 1999.

29. La racine grecque *pseudo* signifiant "faux, erroné", voire "mensonger"

30. P. Feyerabend, *Dialogues sur la connaissance (Dialogo sul metodo)*, 1976), éd. Seuil, Paris, 1996, p. 97.

31. Ou de "Philosophes", terme souvent employé dans cette acception restreinte à la Renaissance.

32. Quoique avec plus ou moins de bonheur. Si Kepler prenait très au sérieux ses savants calculs d'horoscopes (tout en dénonçant le charlatanisme de l'astrologie populaire), Galilée, qui accepte la charge de "mathématicien et philosophe" du Duc de Toscane, s'avère un piètre astrologue, et est rapidement dispensé de ce volet de sa charge.

qu'il est possible de qualifier l'astrologie de pseudo-science du fait du flou de ses "prédictions",³³ de ce fait non réfutables, Kuhn lui oppose la possibilité de prédictions astrologiques précises et vérifiables : une astrologie plus rigoureuse dans la *formulation* de ses prédictions se qualifierait alors comme "science", au sens du critère de réfutabilité, et cela quelle que soit la validité statistique de ces prédictions. Selon Kuhn, c'est au contraire l'impossibilité de tirer une leçon d'un échec, du fait du trop grand nombre de paramètres susceptibles d'être pertinents dans la tradition astrologique qui empêche celle-ci de se constituer en science :

« Comparons les situations de l'astronome et de l'astrologue. Si la prédiction d'un astronome échoue alors que ses calculs sont corrects, il peut espérer corriger la situation. Peut-être ses données étaient-elles fautives... ou peut-être la théorie nécessite-t-elle quelques ajustements... Par contraste, l'astrologue n'a pas de problème [*puzzle*] de ce type à résoudre. »³⁴

Au final, le jugement ne peut porter que sur telle ou telle pratique spécifique, *a posteriori*, et non sur la discipline elle-même, *a priori*. Plutôt que des critères de scientificité *stricto sensu*, on peut seulement identifier, comme pour la science pathologique, un faisceau de symptômes suggérant qu'on est en présence de pseudo-science. Ainsi, Mario Bunge propose à cet effet le jeu de symptômes :

- (a) Abus d'hypothèses *ad hoc* pour échapper à la réfutation
- (b) Accent mis sur la confirmation plutôt que sur la réfutation
- (c) Absence d'auto-correction.
- (d) Inversion de la charge de la preuve
- (e) Dépendance excessive envers les témoignages et les indices anecdotiques
- (f) Utilisation d'un langage obscurantiste
- (g) Absence de "connectivité" avec les autres disciplines³⁵

2.1.4.6. Méthode scientifique vs. scientisme

« Je pourrais donner de la science cette autre définition : la science est la croyance en l'ignorance des experts. Si quelqu'un vous dit : "La science nous apprend que...", il n'emploie pas le mot science comme il faut. »

Richard Feynman³⁶

La notion de **relativité** de tout discours scientifique s'applique également, dans une certaine mesure, à la méthode scientifique elle-même, dont l'application dogmatique apparaît presque comme une contradiction dans les termes.

Une première tentation peut pourtant être de revendiquer son application indiscriminée, y compris dans des situations où son efficacité, et *a fortiori* sa supériorité sur d'autres méthodes, ne sont pas établies. Rare chez les physiciens, qui ne savent que trop bien les limites de leurs méthodes habituelles, on la rencontre parfois chez certaines personnes frottées de science, sans l'avoir réellement pratiquée eux-mêmes. Popper qualifie ainsi de

33. Notons qu'il ne peut alors s'agir de « prédictions scientifiques », au sens de la définition 2.5.3.1. p. 63.

34. Thomas Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962), éditions Champs Flammarion, Paris, 1983.

35. Mario Bunge, « Demarcating Science from Pseudoscience », *Fundamenta Scientiae*, 3, pp. 369–388, 1982.

36. R. Feynman, *La Nature de la physique*, op. cit., pp. 230-231.

scientiste toute personne qui, « ne comprenant pas correctement ce qu'est réellement la méthode des sciences de la nature, tente d'en singer les prétendues méthodes en sciences humaines et sociales. »³⁷

Un autre risque de la pratique scientifique est, paradoxalement, une forme de naïveté, liée au fait que les scientifiques tendent à admettre *a priori*, chez leurs interlocuteurs, la même **intégrité** qu'ils s'imposent à eux-mêmes. Or si la méthode scientifique habituelle peut souvent avoir raison de revendications infondées à propos de phénomènes physico-chimiques grâce à des tests indépendants (reproductibilité, robustesse, etc.), il n'en va pas nécessairement de même lorsqu'elles concernent des phénomènes *a priori* singuliers, voire magiques (i.e. ne pouvant être produits que par un "mage")³⁸ ou simplement très difficiles à reproduire (e.g. guérison "miraculeuse"). Débusquer les fraudes pseudo-scientifiques peut alors s'apparenter plus à un art qu'à une démarche scientifique. Ainsi, lorsqu'au début du XX^e siècle Robert Wood, régulièrement sollicité par des journaux pour invalider des phénomènes soi-disant paranormaux, met sa "casquette" d'"enquêteur scientifique", il fait appel à sa double culture de scientifique et d'illusionniste (amateur) pour repérer les « astuces », « trucs » et autres fraudes auxquelles il est confronté.³⁹ De même, plus près de nous, lorsque l'université de Nice lance un vaste défi, doté d'un million de francs, à quiconque pourrait exhiber un "talent" ou plus généralement un phénomène "paranormal" inexplicable par la science, la définition des tests qui éprouveront ces revendications associe un physicien, Henri Broch, à un illusionniste, Gérard Majax. Après quinze années (1987—2002) et plus de deux cents cas traités, le défi est suspendu, sans que le tandem ait jamais été mis en échec.⁴⁰

Une leçon de ce défi est le constat est qu'il n'a que très rarement été confronté à des cas de fraude pure et simple, ou même simplement de mauvaise foi, peut-être du simple fait de la présence dissuasive de l'illusionniste. Les participants apparaissent souvent les premiers surpris de leur propre échec.⁴¹ Une autre retombée importante en est l'analyse d'un grand nombre de défauts de scientificité courants et d'identifier des effets rhétoriques ou cognitifs susceptibles d'agir sur la réception d'une revendication extraordinaire.⁴²

37. K. Popper, *Misère de l'historicisme*, 1956 ; cité par R. Nadeau, *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*, P.U.F., Paris, 1999, p. 639.

38. Un argument connexe est, *a contrario*, celui de "l'esprit fort", de l'observateur incrédule dont la seule présence suffirait à empêcher l'apparition de l'effet revendiqué.

39. W. Seabrook, *Doctor Wood, Modern Wizard of the Laboratory*, "Wood as a Debunker of Scientific Cranks and Frauds — and his war with the mediums", pp. 233-254.

40. Voir l'historique du prix sur le site de l'université de Nice : <http://webs.unice.fr/site/broch/defi1.html> (consulté août 2014)

41. « Ce qui est le plus remarquable dans l'ensemble des tests que nous avons menés (tests élaborés, nous vous le rappelons, en accord complet avec les candidats ; aucun test n'était imposé) est le fossé ahurissant qui sépare les affirmations des candidats (qui, en toute bonne foi, clament généralement haut et fort a) qu'ils n'auront aucun problème à démontrer leurs capacités, b) qu'ils ont maintes et maintes fois fait la démonstration "éclatante" de leurs "dons" (...) c) que de nombreuses personnes peuvent témoigner, etc...) et les résultats qu'ils obtiennent dans des tests élémentaires, réalisés selon un protocole très simple qu'ils ont eux-mêmes entièrement agréé et se déroulant dans une ambiance cordiale. »

Henri Broch, <http://webs.unice.fr/site/broch/defi5.html> (consulté août 2014)

42. e.g. "L'Effet Puits" : « Faire un discours profond - creux - est efficace. Plus un discours est "profond" (dans le sens de... creux), plus les auditeurs peuvent se reconnaître, et se reconnaître majoritairement, dans ce discours. L'effet Puits (effet "Barnum") offre ainsi une succession de phrases creuses qui peuvent être acceptée

Henri Broch développe par ailleurs une méthode spécifique, la « Zététique »,⁴³ qu'il résume comme un « *art du doute* ». Il la décline en une trentaine de *facettes*, dont certaines correspondent à des critères de scientificité classiques (**cohérence, économie, réfutabilité**), mais dont la plupart reviennent à des maximes d'ordre épistémologique (e.g. « *un scénario n'est pas une loi* » ; « *la bonne foi n'est pas un argument* »), logique (e.g. « *possible n'est pas équivalent à toujours possible* » ; « *l'inexistence de la preuve n'est pas la preuve de l'inexistence* ») ou psychologique (e.g. « *la force d'une croyance peut être immense* »), ou encore liées au rapport à l'écrit (e.g. « *un mot écrit n'est pas auto-validant* »).⁴⁴

L'excès inverse consiste à troquer la naïveté du scientifique contre une arrogance excessive. On peut également considérer que préjuger de l'invalidité de toute revendication étonnante, y compris dans les domaines où aucun test expérimental n'est envisageable, est une autre forme de scientisme. C'est aussi un abus de l'argument d'autorité, et de ce fait une posture intrinsèquement non scientifique.

2.1.4.7. Vulgarisation et fiction spéculative

Les productions académiques et le discours des enseignants ne sont pas les seules ressources d'intérêt scientifique auxquelles sont confrontés les élèves et leurs maîtres. Parallèlement à ces discours institutionnels, on peut en particulier relever l'importance, d'une part, de la vulgarisation et de la médiation scientifiques, et d'autre part de productions artistiques, et en particulier littéraires, s'appropriant des thématiques scientifiques.

Vulgarisation scientifique

On peut distinguer deux catégories de vulgarisation scientifique, selon le rapport à la connaissance adopté par le vulgarisateur.⁴⁵

a/ Point de vue externe : le vulgarisateur se contente de rapporter frontalement, en le simplifiant éventuellement, un discours d'**autorité**. La

comme foncièrement vraies par toute personne car cette personne y ajoutera elle-même les circonstances qui, seules, en font des phrases ayant un sens ». Henri Broch, « Les Effets de la Zététique ». Accessible en ligne : <http://webs.unice.fr/site/broch/enseignement.html#FACETTES> (consulté août 2014)

43. Henri Broch, *Le Paranormal : ses documents, ses hommes, ses méthodes*, Seuil, coll. Points sciences, 1989.

44. « Vérifier la (les) cohérence(s) ; Les anomalies ne sont pas un fondement ; Un scénario n'est pas une loi ; Quantité n'est pas qualité ; Un mot écrit n'est pas auto-validant ; L'analogie n'est pas une preuve ; L'inexistence de la preuve n'est pas la preuve de l'inexistence ; La non-impossibilité n'est pas un argument d'existence ; Possible n'est pas toujours possible ; Compétitif n'est pas forcément contradictoire ; La bonne foi n'est pas un argument ; Positionner le curseur vraisemblance ; Situer l'hypothèse sur l'échelle vraisemblance ; Accorder toute son importance à l'incertitude d'un résultat ; Une analyse globale ou statistique est souvent concluante ; Se montrer prudent dans l'interprétation ; Ne pas oublier l'exposition sélective et la validation subjective ; La nature est sûre ; La parcimonie est de règle ; Le mode de rejet des données est significatif ; Une théorie scientifique est testable, réfutable ; L'inférence est nécessaire ; Une allégation extra-ordinaire nécessite une preuve plus qu'ordinaire ; Le bizarre est probable ; L'erreur est humaine, la faillibilité permanente ne l'est pas ; L'origine de l'information est fondamentale ; La compétence de l'informateur est également fondamentale ; La force d'une croyance peut être immense ; L'illusionnisme a un rôle critique important ; L'histoire des sciences et techniques a son utilité ; Le contexte est important ; L'alternative est féconde ; La charge de la preuve appartient à celui qui déclare. » Henri Broch, « Les Facettes de la Zététique ». Accessible en ligne : <http://webs.unice.fr/site/broch/enseignement.html#FACETTES> (consulté août 2014)

45. Pierre Lazlo, *La Vulgarisation scientifique*, P.U.F., coll. Que sais-je ?, 1993.

justification des éléments vulgarisés repose souvent sur des formulations du type « *Les physiciens savent aujourd'hui que...* », « *Le Pr. X. explique que...* » (mais faisant l'économie de l'explication complète), etc.

b/ Point de vue impliqué : même s'il la dérive d'un discours primaire, le vulgarisateur ⁴⁶ expose sa propre compréhension de son sujet. Toute proportion gardée, ⁴⁷ la scientificité éventuelle de son discours est alors subordonnée aux mêmes contraintes et aux mêmes critères que celle d'un discours primaire.

Médiation scientifique

Certains auteurs distinguent la vulgarisation de la médiation scientifique dont l'objet est de créer du lien entre le monde scientifique et un public donné afin de permettre à ce dernier d'accéder à un savoir scientifique. De ce point de vue, la communication publique de la science n'est pas neutre, on voit alors apparaître des objectifs et des recommandations visant à promouvoir une médiation "responsable".

Ainsi le collectif *Révoluscience*⁴⁸ dégageait-il par exemple, entre autres, les objectifs de « *valoriser la démarche de recherche comme attitude citoyenne et démocratique* » ou « *d'intégrer des problématiques éthiques et environnementales aux discours sur la science* » mais aussi « *d'explicitier la **robustesse** et l'**objectivité** de la recherche* » ou encore de « *ne pas oublier le **caractère construit** de la connaissance scientifique, qu'elle est une représentation du monde et pas la réalité elle-même* ». ⁴⁹ Dans l'esprit, ces derniers objectifs apparaissent assez proches de ceux du NRC qui ont présidé à l'élaboration des objectifs éducatifs américains.⁵⁰

Fiction spéculative et science-fiction

« Il n'y a pas de différence (au plus haut niveau) entre la froide intelligence spéculatrice et l'intuition de l'artiste. Il y a quelque chose d'artistique dans la découverte scientifique et quelque chose de scientifique dans ce que les naïfs nomment les "géniales intuitions de l'artiste". »

Umberto Eco⁵¹

46. Notons que qualifier un discours de "vulgarisation" revient déjà à « *prendre parti dans son analyse* », en le considérant comme secondaire, au regard d'un discours supposé primaire, et que « *cette délimitation de l'extériorité d'un discours masque une argumentation d'autorité* ». D. Jacobi, « *Sémiotique du discours de vulgarisation scientifique* », in *Semen*, 2, 1985. Accessible en ligne :

<http://semen.revues.org/4291> (consulté août 2014)

Nous n'envisageons ici que le cas idéal de discours clairement identifiés comme tels par leur auteur ou par le contexte (e.g. article d'un journal grand public ou d'une revue de vulgarisation)

47. Le niveau technique d'un discours de vulgarisation, quoique par construction très inférieur à celui d'une communication académique, peut être largement comparable à celui d'un enseignant de l'école primaire et *a fortiori* d'un élève.

48. Collectif animé en particulier par Richard-Emmanuel Eastes. Voir par exemple : <http://infusoir.hypotheses.org/288> (consulté août 2014).

49. Accessible en ligne sur le site du groupe Traces :

http://traces.iec.ens.fr/images/downloads/manifeste/le_manifeste_revoluscience.pdf (consulté août 2014)

50. cf. sections 2.3.3.1.2. et 2.4.3.

51. U. Eco, *De Superman au surhomme (Il superuomo di massa, 1976)* ; Grasset, Paris, 1993, p. 155.

La question de la scientificité d'une œuvre artistique peut apparaître paradoxale, même lorsqu'elle fait intervenir un concept, un objet ou une image de nature scientifique⁵². Elle a en particulier été débattue à propos de la littérature de science-fiction,^{53,54} que certains n'hésitent pas à présenter comme le lieu littéraire des images de la science,⁵⁵ quand d'autres, comme Jacques Derrida, y voient « *la métaphore de la pensée théorique moderne. (...) ce cercle sans bord dont je suis exclu* »⁵⁶.

Du fait précisément de son intrication avec la science, revendiquée dans son nom même,⁵⁷ la définition de la science-fiction est une difficulté classique. Une première attitude consiste à réfuter la possibilité même d'un critère externe d'appartenance au genre, lié ou non à son contenu d'intérêt scientifique. Elle conduit par exemple Norman Spinrad à définir, au risque de la circularité assumée, « *la science-fiction comme toute chose publiée sous le label science-fiction* »⁵⁸. *A contrario*, nombre de scientifiques semblent se contenter, dans le même esprit, de tenir pour « non scientifique toute chose publiée sous le label *science-fiction* ».

Une deuxième approche consiste à considérer la science-fiction sous l'aspect de ses spéculations d'ordre scientifique. Dans la norme la plus rigoureuse de l'exercice science-fictionnel (souvent désignée sous le terme de *hard science fiction*⁵⁹), les règles et les contraintes s'appliquant à ses spéculations, en particulier en termes d'argumentation et de **cohérence interne** et **externe**, peuvent être pratiquement aussi strictes que pour les spéculations proprement scientifiques. Certains théoriciens précoces de la SF, comme Robert Heinlein⁶⁰ et Reginald Bretnor, vont même jusqu'à la considérer comme indissociable de la méthode scientifique, au point de la définir comme :

Des histoires révélant, non seulement dans leur argument et leur décor, mais aussi par les pensées et les motivations de leurs personnages, que l'auteur est conscient de la méthode scientifique en tant que fonction humaine, ainsi que des potentialités inhérentes à son exercice.⁶¹

52. Qui peuvent en faire par ailleurs un instrument de vulgarisation, voire un outil de pédagogie scientifique, justiciable de ce point de vue des contraintes évoquées à ce propos.

53. « *Un constat préalable est que cette littérature est presque toujours présentée sous l'angle des idées et non de son fonctionnement verbal, textuel, scriptural, littéraire. L'exercice définitoire auquel tous les ouvrages existants consacrent volontiers une partie apparaît donc comme un essai d'histoire des idées, ou une spéculation philosophique.* » Irène Langlet, *La Science-fiction. Lecture et poétique d'un genre littéraire*, Armand Colin éd., Paris, 2006, p. 7.

54. Richard Saint-Gelais, *L'Empire du pseudo. Modernités de la science-fiction*, éd. Nota Bene, Québec, 1999.

55. Gérard Klein, « Des images de la science à la science-fiction », in *Galaxies* n°11, déc. 1998, pp. 157—165.

56. J. Derrida, in *L'Effet science-fiction*, dir. I. & G. Bogdanoff, éd. R. Laffont, coll. Ailleurs & Demain, 1979, p. 199.

57. Yves Bardière, « De l'ASF à la SF : variations lexicales sur un même thème », in *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*, dir. Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle, éd. Somnium, 2013, pp. 23-28.

58. Norman Spinrad, alors président de l'Association américaine des écrivains de SF (SFWA) ; in *L'Effet science-fiction*, op. cit., p. 305.

59. Dans le même sens où la physique peut être considérée comme une science "dure".

60. R.A. Heinlein, « Grandeur et misères de la science-fiction », in *Robert Heinlein et la pédagogie du réel*, éd. Somnium, Nice, 2008, pp. 122-160. Voir aussi Éric Picholle, « Trois fonctions littéraires de la *hard SF* : rupture, transmission et création », op. cit.

61. Reginald Bretnor, « The Future of Science Fiction », in *Modern Science Fiction*, Advent, Chicago, 1953.

Si l'on ne considère, comme c'est souvent le cas en SF, que des spéculations assez lointaines, non justiciables à court terme d'une expérimentation, les critères de scientificité relatifs à l'expérimentation n'apparaissent en revanche pas pertinents autrement que par « *les pensées et les motivations* » des personnages.

Une différence essentielle est bien sûr qu'on ne présuppose pas l'existence physique des objets représentés qui, dans une fiction, se confondent avec leur représentation diégétique. Par ailleurs, ils ne sont habituellement considérés que dans la **réalisation particulière** de l'histoire. Une conséquence en est que, si l'auteur de *hard SF* confronte autant que possible ses spéculations aux faits scientifiques⁶² connus *au moment de la composition de son œuvre*, il ne se préoccupe ni de les généraliser, ni de les valider *a posteriori*,⁶³ au contraire du physicien. Ainsi, pour Umberto Eco :

« L'auteur de science-fiction est tout simplement un scientifique imprudent [...]/ La science, une fois qu'elle a proposé une loi, cherche immédiatement à la vérifier ou à prouver qu'elle est fausse. La SF, elle, renvoie à l'infini et la vérification est son contraire »⁶⁴.

Une autre différence majeure concerne la **communication**. Si le "contrat de lecture" d'une œuvre de science-fiction impose à l'auteur de distiller au lecteur tous les éléments (explicites ou contextuels⁶⁵) nécessaires à l'appréciation de ses enjeux spéculatifs, il est souvent plus ludique⁶⁶ et moins codifié que celui d'une communication scientifique, et ne présente en particulier aucune contrainte d'**exhaustivité**.

Une dernière approche, calquée sur celle que nous avons adoptée pour la science-elle-même, consiste à considérer la (*hard*) science-fiction comme une « culture savante »⁶⁷ spécifique, émanant d'une communauté bien identifiée (*via* ses revues, ses prix, etc.), et disposant de ses propres mécanisme de validation et d'institutionnalisation. Comme pour la culture scientifique, on pourra alors parler de "monde 2_{SF}" d'un individu donné, ainsi que d'un "monde 3_{SF}".

La question de la scientificité d'une œuvre de science-fiction revient alors à se demander si elle peut appartenir *simultanément* au "monde 3_{SF}" et au "monde 3 scientifique" — ce qui suppose qu'elle vérifie *indépendamment* tous

62. Mais pas nécessairement des théories, que rien n'interdit à un auteur d'anticipation d'imaginer dépassées. Ainsi, pour Robert Heinlein, « *l'auteur de science-fiction n'est limité ni par les théories couramment admises, ni par l'opinion populaire ; il doit seulement respecter les faits établis.* » ; in « Grandeur et misères de la science-fiction », op. cit., p. 128.

63. L'obsolescence des hypothèses d'une œuvre de fiction spéculative ne change rien ni à son statut, ni à sa qualité littéraire.

64. Umberto Eco, « Science et science-fiction », in *France XXI^e siècle*, revue *Science-Fiction* n° 5, éd. Denoël, 1985, pp. 210-221.

65. Éric Picholle, « Le Vrai puits et abyme de la (xeno-)encyclopédie » in *Science-Fiction et didactique des langues*, op.cit., p. 259-271.

66. Quoique pas nécessairement moins formels, certains jeux spéculatifs de *hard SF* pouvant s'avérer extrêmement techniques et pratiquement réservés à un public de solide culture scientifique. Voir par exemple, de Greg Egan, *Incandescence*, Gollancz, Londres, 2008 (inédit en français), et les compléments calculatoires qu'il juge utile de proposer à ses lecteurs sur son site internet : <http://gregegan.customer.netspace.net.au/> (consulté août 2014).

67. Au sens du § 2.2.2.2.5.

les critères (de scientificité et, si l'on ose le néologisme, de science-fictionnalité) d'appartenance à ces deux ensembles.

Nous nous contenterons ici d'établir que l'intersection de ces deux ensembles n'est pas vide, en exhibant un cas particulier répondant incontestablement⁶⁸ à toutes les exigences des deux communautés.



L'expérience de pensée dite des "Jumeaux de Langevin" a donné lieu à un certain nombre de déclinaisons fictionnelles, dont l'une des plus connues est le roman pour la jeunesse *L'Âge des étoiles*, de Robert Heinlein (1956),⁶⁹ qui met effectivement en scène deux jumeaux, dont l'un explore l'univers dans un vaisseau capable de voyager à une vitesse proche de celle de la lumière, alors que l'autre continue à vivre sur Terre. Réputé pour la rigueur de ses références scientifiques, Heinlein y commet pourtant l'une de ses plus graves erreurs physiques, en permettant aux jumeaux de rester en contact par un lien télépathique instantané, ce qui réintroduit la notion de simultanéité dans un cadre einsteinien.⁷⁰ Cette difficulté est en particulier relevée par Gregory Benford, un jeune auteur de *hard science fiction* qui, en réponse, démontre en 1970 qu'une telle transmission instantanée à distance, qu'il baptise "anti-téléphone", ouvrirait

la possibilité d'une transmission d'information dans le passé, voire, plus généralement, du voyage dans le temps.⁷¹ Heinlein intègre alors cette possibilité dans un nouveau cycle romanesque, dit du *Multivers*, qu'il inaugure en 1973 avec *Time Enough for Love*,⁷² dans lequel il revisite en profondeur, du point de vue d'un voyageur temporel, son précédent cycle, alors devenu un grand classique SF, de *l'Histoire du futur*.

Compte tenu à la fois de la notoriété des deux auteurs majeurs en controverse et du statut de classique de la SF aussi bien de l'œuvre fautive que de celle qui en résulte, toutes deux des *best-sellers* incontestables toujours largement disponibles un demi-siècle après leur publication initiale, l'épisode ainsi que l'ensemble de ses éléments appartiennent au monde 3_{SF}.

Il se trouve par ailleurs que Gregory Benford, astrophysicien à l'Université de Californie, Irvine, avait produit une analyse scientifique complète de son anti-téléphone, et choisi de la publier dans la *Physical Review*,⁷³ avec toutes les garanties de scientificité afférentes. Ainsi institutionnalisé et régulièrement cité, cet article appartient donc par ailleurs au monde 3 scientifique. Q.E.D.

68. Un exemple plus classique pourrait être le *Somnium* de Johannes Kepler (ca. 1609), dont on peut considérer qu'il est à la fois, par le thème et le projet, une œuvre majeure de proto-SF, appartenant donc au monde 3_{SF} ; et un élément majeur de la culture scientifique (monde 3 scientifique), aussi bien par la personnalité de son auteur que par le fait qu'y apparaît pour la première fois le concept majeur d'apesanteur. Toutefois, il ne semble y avoir de consensus sur l'appartenance de cette œuvre singulière ni au champ SF, ni à la science moderne.

69. Robert A. Heinlein, *L'Âge des étoiles* (*Time for the Stars*, 1956), éd. Livre de poche, 2010. Couverture de Manchou.

70. Ugo Bellagamba et Éric Picholle, « Vertiges spatio-temporels », in *Solutions non satisfaisantes. Une anatomie de Robert A. Heinlein*, Les moutons électriques éd., Lyon, 2007, pp. 175-184.

71. G. Benford, entretien privé avec Éric Picholle, Nantes, 2008.

72. Robert A. Heinlein, *Time Enough for Love*, 1973 (inédit en français) ; éd. Penguin Group US, 1987.

73. G.A. Benford, D.L. Book et W.A. Newcomb, « The Tachyonic Antitelephone », *Phys. Rev. D* 2, 1970, pp. 263-265.

2.1.4.8. Récapitulatif

Au final, toutes sortes de pratiques, légitimes ou non, peuvent se rencontrer aux marges de la science. L'examen d'un corpus para-scientifique choisi pour rendre compte de cette diversité et l'analyse plus détaillée de quelques cas particuliers fait apparaître peu d'éléments de scientificité spécifiques.

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
Auto-correction			Prise en compte des arguments contraires	Connectivité avec les autres disciplines

Tableau 2.1.4.8.a. : Éléments de scientificité spécifiques au corpus para-scientifique

La plupart des pratiques para-scientifiques ne revendiquent pas particulièrement une quelconque scientificité. Lorsque c'est le cas, les situations de fraude pure et simple ne posent pas non plus de problème théorique particulier : elles sont justiciables, lorsqu'elles sont détectées, de l'impératif général d'**intégrité** du scientifique.

En termes de réflexion sur la nature de la science, les pratiques parascientifiques ne posent donc de difficulté que lorsqu'une revendication de scientificité de bonne foi apparaît injustifiée. Une exclusion *a priori* de telles revendications, de pure autorité, ne saurait elle-même être considérée comme une réponse scientifique recevable. Celle-ci passe au contraire par d'une forme d'*enquête* scientifique astucieuse, basée sur les critères de scientificité en vigueur dans la communauté scientifique.

Des analystes notoires comme Langmuir pour la science pathologique ou Bunge pour les pseudo-sciences identifient dans de telles situations des *faisceaux d'indices* ou de *symptômes* (chacun pris isolément n'étant pas nécessairement rédhibitoire), susceptibles d'alerter l'esprit critique de l'observateur et de l'amener à resserrer ses contrôles habituels de scientificité, plutôt qu'à appliquer mécaniquement des tests ou des règles spécifiques.

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours	Argumentation & théorisation	Généralités sur la science
Des théories fantastiques contraires à l'expérience sont suggérées.	L'effet maximum observé est produit par une cause dont l'intensité est à peine détectable, et son importance est substantiellement indépendante de l'intensité de la cause. La magnitude de l'effet demeure proche de la limite de la détectabilité ; ou de nombreuses mesures sont nécessaires du fait de la très basse signification statistique des résultats.	Revendication d'une grande précision Utilisation d'un langage obscurantiste	Des excuses <i>ad hoc</i> sont conçues au vol en réponse aux critiques. Abus d'hypothèses <i>ad hoc</i> pour échapper à la réfutation Inversion de la charge de la preuve Dépendance excessive envers les témoignages et les indices anecdotiques	Le rapport des partisans et des détracteurs monte aux environs de 50% puis diminue graduellement jusqu'à l'oubli.

Tableau 2.1.4.8.b. : Récapitulatif des symptômes d'alerte extraits du corpus para-scientifique

5.2.2. IDENTIFICATION DE CRITERES ADAPTES A L'ECOLE

2.2.1. Contraintes et stratégie

On cherche à établir un jeu de critères de scientificité opératoires à l'école primaire qui 1/ portent sur des pratiques particulières adaptées au niveau des élèves, 2/ permettent de discriminer pratiques scientifiques et non scientifiques et 3/ restent recevables pour la science professionnelle.

Pour cela, on passe systématiquement en revue les éléments de scientificité précédemment identifiés, en envisageant chaque fois leur pertinence aussi bien en termes de pratique professionnelle que de possibilité d'application au niveau du primaire. On regroupe les éléments de scientificité dont les nuances de formulation ne correspondent à aucun objectif de formation (e.g. contraintes de « transmission » et de « communication » de l'information ; « vérifiabilité » et « testabilité » d'une proposition).

Sont alors considérés comme inadaptés les éléments de scientificité :

a/ *A priori* pertinents au regard d'une démarche scientifique globale, ou *a fortiori* de la science tout entière, mais non d'une pratique particulière.

Il convient de noter que ce choix est à l'opposé de l'approche *top-down* de la Nature de la science par des théoriciens comme N. Lederman.

b/ Insuffisamment discriminantes.

Là encore, il ne s'agit pas ici de souligner, comme l'approche *top-down* y invite parfois, l'importance intrinsèque de tel ou tel élément pour la démarche scientifique, mais d'identifier ce qui permet de la démarquer d'activités non scientifiques.

c/ Dont l'application stricte exclurait une pratique scientifique *a priori* légitime⁷⁴.

On définit pour cela trois archétypes de pratiques scientifiques individuelles⁷⁵ qu'on passe au crible de chaque élément de scientificité :

- celle du « pur théoricien » qui ne réalise lui-même ni observation ni expérimentation.
- celle du « pur expérimentateur » qui met en œuvre une technique expérimentale unique.
- celle du scientifique « purement spéculatif », dont les recherches portent sur des phénomènes entièrement inaccessibles à l'expérience dans un futur prévisible.⁷⁶

74. « Dans une discipline aussi vaste que la physique, il y a place pour toutes sortes d'individus, depuis les expérimentateurs de tout poil jusqu'aux théoriciens les plus divers. La collaboration de tous est nécessaire pour explorer et comprendre la nature. La conception d'appareils scientifiques et la recherche mathématique constituent deux activités qui n'ont pas pour objectif direct la découverte de nouvelles lois physiques mais participent néanmoins du même projet de compréhension de la nature. Bien que la conception d'appareils relève plus de l'artiphysique que de la physique proprement dite et que la recherche mathématique en physique soit plus orientée vers la résolution de problèmes mathématiques posés par le développement de la physique théorique, il ne viendrait l'idée à personne de considérer ces deux activités comme des activités parasites. » Mario Bunge, *Philosophie de la physique* (*Philosophy of Physics*, 1973) ; éd. Seuil, Paris, 1975, p. 31. Par "artiphysique", Bunge entend ce qui relève d'une forme d'"artisanat" dans la conception des expérimentations en physique.

75. Par opposition à la démarche collective plus vaste dont ils participent et qui, elle, implique souvent la conjonction de pratiques et de compétences très diverses, aussi bien théoriques qu'expérimentales et spéculatives.

d/ Dont l'application stricte exclurait les pratiques élémentaires compatibles avec le niveau d'un élève de l'école primaire.

On définit pour cela un archétype de bon élève de cycle 3, à partir des compétences reconnues par les programmes scolaires aux élèves de cet âge (cf. chapitre 2, § 2.3.3.). Les compétences réputées non accessibles à un élève de cours moyen ne le sont *a fortiori* pas plus à un plus petit.

e/ Dont l'application stricte exclurait des pratiques *a priori* légitime en cours de sciences à l'école primaire.

L'incompatibilité avec une seule de ces contraintes suffit à éliminer un élément de scientificité comme inadapté à la science scolaire. Leur examen conduit par ailleurs à l'identification de nouvelles redondances et à de nouveaux regroupements.

2.2.2. Examen des éléments de scientificité

Remarque : Pour chaque élément de scientificité considéré comme inadapté à la science scolaire, on ne donne ici qu'un argument, même lorsque plusieurs concourent à son élimination.

Les éléments de scientificité restant susceptibles d'être pertinents à l'école primaire au terme de ce passage au crible seront à l'inverse discutés en détail dans la section § 5.2.3.

2.2.2.1. Éléments méthodologiques

Élément de scientificité	Pertinence	Conclusion
	au regard de pratiques scientifiques légitimes au regard des pratiques scolaires	
Primauté de l'expérience	Crucial	Pertinent
	Crucial	
Distinction consciente entre le monde physique et ses représentations	Souvent implicite	Pertinent
	Objectif majeur de formation	
Transmission Communication	Crucial	Pertinent
	Objectif majeur de formation	
Navigation entre général et particulier	Crucial	Pertinent
	À adapter en fonction du spectre de généralité accessible aux élèves	
Identification et rejet de mauvaises pratiques	Souvent implicite	Pertinent
	Crucial	
Renoncement à la recherche de causes premières	Pertinent au regard de la science en tant qu'aventure collective, rarement au niveau des pratiques individuelles des scientifiques	Inadapté
	Enjeux très abstraits, hors de portée des élèves du primaire	
Méthode hypothético-déductive	Exclut les activités purement observationnelles ; peu compatible avec les phases d'expérimentation sauvage.	Inadapté
Présence d'hypothèses	<i>idem</i>	

76. e.g. modélisation de l'intérieur d'un trou noir ; ou encore, spéculations théoriques sur l'"anti-téléphone" de Benford (cf. *supra*, § 2.1.4.7.)

Honnêteté intellectuelle	Crucial	Pertinent
	Crucial	
Ténacité	Qualité utile plutôt que critère de scientificité	Inadapté
	L'élève est rarement maître du temps consacré à une investigation.	
Résoudre des problèmes	Dans l'acception kuhnienne de "puzzle" scientifique, l'enjeu porte sur un projet de recherche global plutôt que sur une pratique particulière ; dans l'acception courante, banal.	Inadapté ⁷⁷
	Formulation très générale et peu discriminante dans l'acception courante	
Diversité des méthodes	S'applique à l'entreprise scientifique collective ; au niveau des pratiques individuelles, incompatible avec certaines démarches très spécialisées.	Inadapté
	Rarement compatible avec les contraintes temporelles associées à un point particulier du programme	
Questionnement	Banal	Inadapté
	Non discriminant ; les élèves de primaire se posent des questions à tout propos.	
Prédiction	Incompatible avec les activités purement observationnelles	Inadapté ⁷⁸
	<i>idem</i> ; risque de confusion entre le simple énoncé d'une intuition et la mise en application d'un modèle ou d'une loi.	
Coopération	S'applique à l'entreprise scientifique collective ; incompatible avec des démarches légitimement individuelles.	Inadapté ⁷⁹
	Exclut les activités en autonomie.	
Auto-correction	Crucial	Redondant ⁸⁰
	Crucial	

Tableau 2.2.2.1. : Pertinence des éléments de scientificité méthodologiques dans un contexte scolaire

2.2.2.2. Éléments relatifs à l'observation et à l'expérience

Élément de scientificité	Pertinence	Conclusion
	au regard de pratiques scientifiques légitimes au regard des pratiques scolaires	
Principe d'économie	Idéal souvent implicite plutôt que condition de scientificité	Pertinent ⁸¹
	Rarement compatible avec les expériences proposées dont l'élève n'est pas maître ; apprentissage néanmoins important en ce qui concerne les productions de l'élève.	
Exhaustivité de la documentation	Idéal des publications scientifiques d'archive	Pertinent
	L'identification des éléments de documentation pertinents est un objectif d'apprentissage important.	

77. Si la résolution de problèmes se prête mal à la formulation d'un critère de scientificité *stricto sensu*, elle reste un élément essentiel de la science et pourra intervenir dans les tentatives de définition de celle-ci.

78. Sans être un critère de scientificité général, l'énoncé et la vérification de prédictions formelles reste un prérequis de la modélisation scientifique.

79. Une part essentielle de cet élément de scientificité est toutefois pris en compte dans le critère de communication.

80. La notion d'auto-correction au sens de Bunge est implicite dans les contraintes de primauté de l'expérience et de cohérence interne et externe.

81. Dans la limite où il s'applique aux productions de l'élève et en particulier à la documentation de l'expérience ou de l'observation.

Reproductibilité	Crucial	Pertinent
	Crucial	
Opportunité des expériences	Obligation élémentaire	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Maîtrise de l'instrumentation	Exclut le pur théoricien archétypal	Inadapté
	Incompatible avec les phases d'apprentissage ne reposant pas sur de l'instrumentation	
Robustesse	Crucial	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Analyse des données	Exclut les pratiques purement spéculatives	Inadapté
	Faiblement discriminant ; objectif d'apprentissage dépassant largement le champ de l'enseignement scientifique	

Tableau 2.2.2.2. : Pertinence des éléments de scientificité relatifs à l'expérimentation et à l'observation dans un contexte scolaire

2.2.2.3. Éléments relatifs au discours

Élément de scientificité	Pertinence	Conclusion
	au regard de pratiques scientifiques légitimes au regard des pratiques scolaires	
Cohérence interne	Crucial	Pertinent
	Crucial	
Cohérence externe	Crucial	Pertinent
	Crucial	
Véhicule des connaissances spécifiques	Obligation élémentaire	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Cohérence formelle Cohérence symbolique	Obligation élémentaire	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Cohérence lexicale	Obligation élémentaire	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Relativité des discours scientifiques	Parfois implicite	Pertinent 82
	S'oppose à la tentation de généralisation abusive.	
Problématisation	Critère abstrait portant sur une démarche globale plutôt que sur des pratiques particulière	Inadapté
	Peu discriminant	
Construction d'explications	Exclut le pur expérimentateur archétypal	Inadapté
	Peu discriminant	
Vérifiabilité (d'une proposition) Testabilité (<i>idem</i>)	Au sens de Wittgenstein, contrainte très abstraite rarement pertinente pour le pur expérimentateur archétypal	Inadapté
	Distinction trop abstraite pour l'école primaire	

Tableau 2.2.2.3. : Pertinence des éléments de scientificité portant sur le discours dans un contexte scolaire

82. Concrètement c'est le maître qui détermine ou cautionne la généralité du discours des éléments. Cet élément de scientificité s'adresse donc autant au maître qu'aux élèves.

2.2.2.4. Éléments relatifs à l'argumentation

Élément de scientificité	Pertinence	Conclusion
	au regard de pratiques scientifiques légitimes au regard des pratiques scolaires	
Apodicticité	Exclut l'astrophysicien purement spéculatif archétypal	<i>Inadapté</i>
	Le concept même de démonstration n'est pas au programme de l'école primaire.	
Respect de la logique	Crucial	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Cohérence interne	Crucial	<i>Redondant</i> ⁸³
	Crucial	
Non scolasticité	Crucial	Pertinent
	Le rejet de l'argument d'autorité dans une argumentation scientifique est un objectif d'apprentissage essentiel	
Autonomie de la physique	Partiellement obsolète dans un contexte disciplinaire bien identifié	<i>Redondant</i> ⁸⁴
	Couvert à l'école par un « principe de neutralité » plus général	
Simplicité Économie Rasoir d'Ockham	Principe esthétique rarement invoqué explicitement	<i>Inadapté</i> ⁸⁵
	La notion d'argumentation est encore en cours d'acquisition au primaire ; celles de sa simplicité ou de son élégance apparaissent donc prématurées.	
Univocité du langage scientifique	Idéal partiellement obsolète ⁸⁶	<i>Inadapté</i> ⁸⁷
	Contrainte non respectée dans les programmes (e.g. : racine carrée d'un nombre / racine d'une fleur).	
Rejet des arguments <i>ad hoc</i>	Des arguments <i>ad hoc</i> sont légitimes pour justifier une approximation dans un cas particulier.	<i>Inadapté</i>
	Les raisonnements des élèves du primaire dépassent rarement le cadre du problème particulier considéré.	
Argumentativité	Exclut le pur expérimentateur archétypal	<i>Inadapté</i>
	Peu discriminant	
Prise en compte des arguments contraires	Obligation élémentaire	<i>Redondant</i> ⁸⁸
	Objectif d'apprentissage	

Tableau 2.2.2.4. : Pertinence des éléments de scientificité portant sur l'argumentation dans un contexte scolaire

83. La cohérence interne de l'argumentation peut souvent se décomposer d'une part en obligation du respect de la logique et d'autre part en exigence de cohérence du discours.

84. L'apparition dans une argumentation scientifique d'arguments d'autorité liés à la religion ou à la politique est par ailleurs couverte par celle de "non scolasticité".

85. Dans toute sa généralité du moins. L'économie d'une documentation ou d'une loi font l'objet d'un traitement séparé.

86. Par exemple, le terme de "photon", dont le sens est très technique en optique quantique, est désormais employé très largement en physique classique.

87. Si on la limite à un contexte d'application particulier, la contrainte est par ailleurs couverte par celle de "cohérence lexicale". L'univocité des lois fait l'objet d'un traitement séparé.

88. Les obligations de cohérence externe du discours et de primauté de l'expérience couvrent la prise en compte des arguments contraires.

2.2.2.5. Éléments relatifs à la théorisation

Élément de scientificité	Pertinence	Conclusion
	au regard de pratiques scientifiques légitimes au regard des pratiques scolaires	
Apodicticité	Exclut le scientifique purement spéculatif archétypal	<i>Inadapté</i>
	Le concept même de démonstration n'est pas au programme de l'école primaire.	
Économie (loi)	Au terme de leur phase d'institutionnalisation, la formulation des lois s'avère en général économique.	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Univocité (loi)	Crucial	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Robustesse (loi)	Crucial	Pertinent
	Objectif d'apprentissage	
Efficacité	Objectif majeur	<i>Inadapté</i>
	L'efficacité d'une approche est souvent connue <i>a priori</i> par l'enseignant.	
Fécondité Efficacité heuristique	Objectif majeur	<i>Inadapté</i>
	L'intérêt pédagogique d'une approche prime souvent sa fécondité heuristique.	
Pouvoir explicatif des théories	Exclut le scientifique purement spéculatif archétypal	<i>Inadapté</i>
	À l'école primaire, la théorisation se limite souvent au niveau de généralité de la loi, de faible pouvoir explicatif.	
Concordance avec la réalité	Exclut le scientifique purement spéculatif archétypal	Redondant 89
	Objectif d'apprentissage	
Réfutabilité	Critère controversé	<i>Inadapté</i>
	Trop abstrait pour des élèves du primaire	
Modélisation	Exclut le pur expérimentateur archétypal	<i>Inadapté</i>
	Objectif d'apprentissage général, non pertinent pour certaines pratiques purement observationnelles.	

Tableau 2.2.2.5. : Pertinence des éléments de scientificité portant sur la théorisation dans un contexte scolaire

2.2.2.6. Éléments divers

Élément de scientificité	Pertinence	Conclusion
	au regard de pratiques scientifiques légitimes au regard des pratiques scolaires	
Variété des formes de connaissance	Constat non spécifique	<i>Inadapté</i> 90
	<i>Idem</i> , non discriminant	
Caractère provisoire	Constat non spécifique	<i>Inadapté</i> 91
	<i>Idem</i> , non discriminant. Les élèves ont l'habitude des connaissances remises en cause et approfondies d'année en année.	
Subjectivité	Exclut le pur expérimentateur archétypal	<i>Inadapté</i>
	À l'école primaire, les élèves ne sont pas maîtres des expériences	

89. Couvert par les contraintes de primauté de l'expérience et de cohérence externe.

90. L'objectif pédagogique de disqualification d'une vision monolithique de « la Science » peut être traité *via* la contrainte de non scolasticité.

91. L'accent permanent mis sur la primauté de l'expérience lors des séquences en démarche d'investigation implique directement le caractère provisoire de toute connaissance.

	auxquelles ils procèdent. L'influence de la théorie porte d'abord sur les choix du maître.	
Ancrage social et culturel	Constat non spécifique	<i>Inadapté</i> ⁹²
	A l'école primaire, l'ancrage primordial de la science est le programme. La contextualisation des connaissances est hors de portée des écoliers.	
Imagination et créativité	Objectif portant sur les phases de conception plutôt que sur les pratiques des phases d'exécution	<i>Inadapté</i>
	Peu discriminant	
Degré de certitude variable	Constat non spécifique	<i>Inadapté</i>
	À l'école primaire, l'autorité du maître confère une valeur de certitude uniforme aux connaissances qu'il valide.	
Présomption de causalité	Non consensuel (e.g. interprétation de Copenhague de l'émission spontanée d'un photon)	<i>Inadapté</i>
	Exclut les pratiques purement observationnelles	
Connectivité avec les autres disciplines	Exclut le pur expérimentateur archétypal	<i>Inadapté</i>
	A l'école primaire, c'est <i>a contrario</i> la différenciation qui provient des choix pédagogiques du maître.	

Tableau 2.2.2.6. : Pertinence des éléments de scientificité généraux dans un contexte scolaire

2.2.2.7. Récapitulatif

On retient donc un jeu de vingt-et-un éléments de scientificité susceptibles d'être pertinents pour qualifier la science scolaire.

Méthodologie scientifique	Observation / Expérience	Discours & Représentations	Argumentation & Théorisation ⁹³
Primauté de l'expérience Distinction consciente entre le monde physique et ses représentations (=> Recul) Navigation entre général et particulier (=>Exploitation du spectre de généralité) Identification et rejet de mauvaises pratiques / Honnêteté (=> Intégrité) Communication (=> Transmission)	Opportunité des expériences Reproductibilité Robustesse Exhaustivité de la documentation Principe d'économie (=>Economie)	Cohérence lexicale Cohérence formelle/symbolique (=> Cohérence symbolique) Cohérence interne (=> Non-contradiction interne) Cohérence externe (=> Non-contradiction externe) Véhicule des connaissances spécifiques (=> Non vacuité) Relativité des discours scientifiques	Respect de la logique (=> Cohérence logique) Non scolasticité Univocité (d'une loi) Robustesse (d'une loi) Economie (d'une loi)

Tableau 2.2.2.7. : Critères de scientificité sélectionnés

92. Le fait que l'ancrage social et culturel ne donne pas lieu à un critère de scientificité opératoire pour des pratiques scientifiques concrètes ne préjuge pas de son importance pour la compréhension de la nature de la science.

93. Considérant leur faible nombre, on a rassemblé dans une même catégorie les critères de scientificité relatifs à l'argumentation et à la théorisation.

5.3. Un ensemble de critères de scientificité opératoires à l'école

Dans cette section technique, nous passons systématiquement en revue les critères de scientificité que nous avons retenus pour la science scolaire (sans distinguer à ce stade l'école maternelle de l'école élémentaire). Nous proposons pour chacun une formulation aussi opératoire que possible, c'est-à-dire, ici, dont il est facile de dériver un test de scientificité élémentaire utilisable en situation par les enseignants.

5.3.1. METHODOLOGIE SCIENTIFIQUE

Les contraintes portant directement sur la méthodologie scientifique elle-même sont souvent subtils. Nous avons choisi d'aborder d'entrée la catégorie la plus délicate. Elle rassemble des critères relatifs au comportement (4.3.1.1.), qui insistent sur la nécessité d'être honnête et de communiquer ses conclusions dans le cadre des « bonnes pratiques » ; la primauté de l'expérience (4.3.1.2) ; enfin, des critères relatifs à la représentation scientifique du monde (4.3.1.3.).

Méthodologie scientifique	Observation/ Expérience	Discours & Représentations	Argumentation & Théorisation
<i>Comportement</i>			
Intégrité 3.1.1.1.			
Transmission 3.1.1.2.			
Primauté de l'expérience 3.1.2.			
<i>Représentation du monde</i>			
Recul 3.1.3.1.			
Exploitation du spectre de généralité 3.1.3.2.			

3.1.1. Comportement

Nous réunissons ici deux contraintes liées au caractère collectif de la science : la loyauté des contributeurs, sur laquelle repose la confiance de la communauté scientifique, et l'impératif de communication, qui la rend possible.

3.1.1.1. Intégrité

Un défaut d'intégrité est la première, la plus immédiate et peut-être la plus importante des causes de disqualification d'un discours ou d'une pratique scientifique. La science, comprise comme une entreprise collective, ne saurait en effet être efficace sans la confiance entre scientifiques sur laquelle elle repose (et qui n'est évidemment pas exclusive d'un contrôle mutuel permanent). La tradition épistémologique anglo-saxonne accorde ainsi une très grande importance à la notion de "bonnes pratiques", qu'elle définit en particulier par opposition à celle de "fraude scientifique", au sens très large défini par Charles Babbage⁹⁴. Si le "canular scientifique" ou la "réduction de données" identifiés par ce dernier ne constituent pas un réel problème à l'école primaire, les élèves y sont extrêmement sensibles à la notion de "triche".

94. cf. Addendum 5.

Formulation

Critère d'intégrité

Aucune mauvaise pratique n'est identifiable.

A l'école, c'est le maître qui est, en dernier recours, le garant du respect des bonnes pratiques, au regard des règles qu'il a imposées à ses élèves. Il lui appartient donc, *a contrario*, de définir des "mauvaises pratiques", telles que nier l'évidence, mentir, tricher, fausser ses résultats pour avoir raison à tout prix, etc.

Commentaires

a/ Au-delà de ce qui pourrait apparaître comme une évidence première à tout pédagogue, il est important de noter que, dans un contexte d'initiation à la science, *la sanction scientifique de mauvaises pratiques d'un élève ne doit pas (ou pas seulement) se situer sur le plan moral ou disciplinaire, mais impliquer la disqualification de son discours pour l'activité scientifique concernée*, quelles que puissent être par ailleurs la qualité et la justesse de son travail ou de ses interventions.

b/ Notons d'autre part l'évolutivité du critère : la plupart des "bonnes pratiques" ne peuvent être définies comme telles qu'après un travail spécifique, voire, pour celles relatives à la manipulation de données quantitatives (barres d'erreur, probabilités, etc.), qu'à partir d'un certain niveau (e.g. collège ou toute fin de primaire pour des encadrements d'une valeur). D'autre part, sa validation n'est jamais que provisoire : de mauvaises pratiques peuvent être identifiées, et sanctionnées *a posteriori*.

3.1.1.2. Transmission

Communiquer est un processus complexe et son apprentissage l'un des enjeux majeurs de la pédagogie au primaire. L'objet de cette section n'est toutefois pas d'en explorer les subtilités, mais de rappeler sa centralité dans la démarche scientifique. Nous nous contenterons ici d'une formulation minimaliste du critère correspondant.

Formulation

Critère de transmission

Les conclusions ont été formellement communiquées.

Pour un scientifique professionnel, la communication formelle de ses résultats prend souvent la forme de leur présentation lors d'une conférence ou d'un article dans une revue professionnelle⁹⁵, par opposition à la mémoire informelle, à usage interne, que peut constituer un cahier de laboratoire.

95. Il arrive que certains résultats ne soient pas communiqués, pour des raisons de secret industriel ou militaire par exemple. Mais justement, et indépendamment de leur qualité et de leur importance, ils ne sont alors pas *scientifiques* au sens, *stricto sensu*, de la méthode scientifique habituelle.

A l'école, la communication de résultats hors de la classe est en revanche assez rare (même si cela arrive parfois, par le biais d'échanges interclasse par exemple). Au sein même de la classe, lors d'une séquence en démarche d'investigation par exemple, on peut toutefois distinguer des énoncés informels émis, sans validation, au cours d'un échange oral ou d'un écrit "de travail" assimilable à un brouillon (notes d'observation, etc.) ; et des énoncés formels, comme des comptes-rendus d'expérience ou des conclusions qui ont été validées par la classe entière ou par l'enseignant. Ce second type d'énoncé permet de conserver la mémoire du travail effectué, et peut être considéré comme un effort de transmission des connaissances produites.

Il appartient donc à l'enseignant de définir les normes communicationnelles qui valident formellement et institutionnalisent les conclusions des élèves. Ainsi, des normes graphiques (encadrés, écriture d'une autre couleur, etc.) peuvent distinguer énoncés formels et informels même lorsqu'ils cohabitent sur le même support (comme le cahier d'expériences⁹⁶). Le respect de ces normes suffit à qualifier une communication formelle (ou *a contrario* une "mauvaise pratique" si elles sont appliquées à des énoncés non institutionnalisés⁹⁷).

Commentaires

a/ La communication peut se trouver en échec du fait de la nature même d'une expérience,⁹⁸ ou faute de volonté à communiquer (e.g. un résultat confidentiel ou qui resterait au fond d'un tiroir). En toute rigueur, on aurait pu distinguer deux critères : l'un portant sur la *communicabilité* et l'autre sur la *communication effective* d'une information à autrui.

Dans le cadre scolaire, cette distinction ne paraît pas indispensable. Les concepts et les résultats au programme sont par construction classiques, ce qui garantit non seulement leur communicabilité, mais aussi l'existence d'un vocabulaire adapté. Le maître pourra donc toujours proposer des mots pour dire les concepts dont les élèves ont l'intuition sans être capable de les formuler.

b/ Notons que le critère de transmission ne préjuge en rien de la *qualité* du discours communiqué.

3.1.2. Primauté de l'expérience

Formulation

Critère de primauté de l'expérience

Les conclusions ne contredisent aucun fait d'expérience.

96. Edith Saltiel, *Guide méthodologique. La démarche d'investigation : comment faire en classe ?* (2005). Accessible sur le site de La Main à la Pâte : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe> (consulté août 2014).

97. Présenter faussement comme validé un résultat qui ne l'a pas été, c'est "tricher", l'équivalent de s'attribuer soi-même une bonne note avant toute correction.

98. e.g. une expérience mystique ou passionnelle, parfois intrinsèquement incommunicable.

En d'autres termes, lorsqu'un fait dûment établi par l'expérience⁹⁹ est en contradiction avec le discours, c'est l'expérience qui prime, jusqu'à preuve du contraire et justification de son invalidation.

Commentaires

a/ Le discours scientifique est toujours provisoire et évolutif¹⁰⁰. Une contradiction entre le discours et l'expérience est un moment fructueux d'une démarche d'investigation ; elle met en évidence une difficulté ou une erreur de formulation. L'énoncé problématique doit donc être reformulé après une réflexion sur les sources de la difficulté.

b/ Il convient toutefois de souligner qu'un fait d'expérience n'a, par définition, aucune généralité : le principe de primauté de l'expérience, dans le cas particulier concerné, n'est en aucun cas une affirmation de sa généralité.

Une conclusion portant sur *une autre* configuration expérimentale ne saurait donc être considérée comme contradictoire

e.g. : l'énoncé « l'eau bout à 100°C au niveau de la mer » n'entre pas en contradiction avec l'observation d'une ébullition à 95° en altitude — alors que la primauté de l'expérience permet alors d'invalider l'énoncé plus général « l'eau bout à 100°C ».

c/ Il peut arriver que la contradiction provienne d'une erreur expérimentale ou de la documentation de l'expérience. Pour la résoudre on peut donc aussi être amené à reconsidérer ou refaire l'expérience. Mais il faut un argument expérimental supplémentaire, comme l'identification d'une erreur ou d'un paramètre pertinent négligé dans sa description, pour invalider un fait d'expérience.

3.1.3. Représentation du monde

Les démarches scientifiques impliquent la construction de représentations du monde, c'est à dire de *modèles* plus ou moins simplifiés, ainsi que la mise en rapport dialectique de ces représentations avec le monde physique.¹⁰¹ Pour autant, toute utilisation d'un modèle n'est pas scientifique. Il est en particulier essentiel que l'emploi de ces représentations soit, d'une part, délibéré et conscient, et d'autre part qu'il ne se limite pas au seul cas particulier considéré. Nous introduisons donc ici les deux contraintes de *recul* et d'*agilité*.

99. Le terme "expérience" réfère ici aussi bien aux observations, expériences sauvages qu'aux expériences contrôlées (cf. 2.2.6.1.)

100. Rappelons que c'est l'un des principaux critères proposés par Norman G. Lederman & al. "*The Tentative Nature of Scientific Knowledge. Scientific knowledge, although reliable and durable, is never absolute or certain. This knowledge, including facts, theories and laws, is subject to change. Scientific claims change as new evidence, made possible through advances in thinking and technology, is brought to bear on this claims, and as extant evidence is reinterpreted in the light of new theoretical advances, changes in the cultural and social spheres, or shifts in the direction of established research programs.*" In « Views of Nature of Science Questionnaire : Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners'Conceptions of Nature of Science », *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 39, n°6, p. 502 (2002).

101. Ou, dans le vocabulaire de Karl Popper, du "monde 3" des représentations construites avec le "monde 1" de la réalité physique.

3.1.3.1. Recul

L'intérêt principal d'un modèle est en général qu'il est plus simple et donc plus facile à manipuler que le système physique qu'il représente. Toutefois, un corollaire est qu'il est aussi nécessairement incomplet. La conscience de la différence entre l'objet et son modèle passe donc souvent par la réalisation de l'inexhaustible complexité des choses réelles, selon la belle expression d'Hermann Weyl¹⁰².

Par ailleurs, les modèles sont informés par des théories, qui restent souvent implicites à l'école primaire. Ainsi la représentation de la lumière sous forme de *rayons* dérive directement de la théorie de l'optique géométrique et il importe de distinguer le concept théorique de rayon de la réalité physique de la propagation de la lumière.

Formulation

Critère de recul

Des marqueurs d'une distinction entre le monde physique et ses représentations sont identifiables.

Nous définissons donc le *recul* comme la distinction cognitive entre le monde physique et ses représentations (modèles, etc.). Toutefois, dans la mesure où il est difficile de déterminer objectivement ce dont un élève est ou non conscient, le critère de scientificité correspondant portera plutôt sur la présence de *marqueurs* de cette distinction.

Commentaires

a/ À l'oral, cette distinction peut être spontanément exprimée par l'élève, ou son expression provoquée par le maître à l'aide d'un questionnement spécifique. Elle peut aussi être ritualisée, par l'appel à des marqueurs systématiquement associés à des discours particuliers. Ainsi, dans le cas de rayons lumineux, la référence à une théorie existante (e.g. « *on a dit que l'on représentait la lumière par des rayons rectilignes* ») ou l'emploi d'une convention explicitement reconnue comme telle (e.g., sur un schéma, un trait avec une flèche).

b/ Notons que, pour des étudiants plus avancés (lycée et au-delà), l'appropriation et la maîtrise d'un langage scientifique formalisé peuvent constituer un marqueur de recul suffisant.

102. « *It is the nature of a real thing to be inexhaustible in content* », Hermann Weyl, Introduction à *Space, Time, Matter, Space, Time, Matter*. U.S.A. : Dover Publications, 1922.

3.1.3.2. Exploitation du spectre de généralité

Quel que soit le point de départ de l'activité scientifique, cette activité ne peut pleinement convaincre qu'en quittant le domaine de base : si elle expérimente, il faut raisonner ; si elle raisonne, il faut expérimenter.

Gaston Bachelard¹⁰³

Pour le physicien professionnel, l'intérêt d'un concept ou d'une théorie générale est lié à sa capacité à s'appliquer à de nombreux cas particuliers. Inversement, il sait l'utilité de rassembler toute une série de cas particuliers pour en inférer une généralité. La navigation permanente entre le particulier et différents niveaux de généralité est en effet un élément essentiel de la méthode scientifique.

Formulation

Critère d'exploitation du spectre de généralité

Des marqueurs d'une navigation entre le général et le particulier sont identifiables.

Commentaires

Le physicien professionnel dispose souvent de toute une gamme d'énoncés de généralité variable à propos du même problème physique. Leur spectre de généralité est donc très large.¹⁰⁴

La notion de *largeur spectrale* est indépendante de celle de *niveau* de généralité. Ainsi, un pur théoricien ou un philosophe qui ne manipulerait que des énoncés de très haute généralité n'en présenterait pas moins un spectre de généralité étroit.

À l'école primaire, toutefois, les élèves ne disposent encore ni de l'arsenal formel de la physique mathématique, ni de la culture scientifique qui leur permettrait de corréler des phénomènes *a priori* très différents. Le niveau des généralisations qu'on y pratique est donc souvent modeste, et se limite souvent à l'expression d'une loi ou à la construction d'un modèle s'appliquant à une classe de phénomènes assez restreinte. Le spectre de généralité des énoncés disponibles y est donc étroit. La distinction entre énoncés particuliers et généraux n'en est pas moins essentielle, et la navigation systématique entre les deux un enjeu majeur de l'appropriation de la méthode scientifique.

En l'absence d'expression spontanée, l'enseignant peut s'assurer, en les questionnant, que les élèves distinguent bien général et particulier. Pour qu'il y ait navigation, une généralité nouvellement construite doit s'appliquer sur de nouveaux cas particuliers, choisis à dessein pour tester cette généralité. Dans le cas où les élèves utilisent une généralité, une "remontée" d'autres cas particuliers vers le général est également nécessaire. On qualifiera ici d'agile un élève qui navigue explicitement entre général et particulier et exploite le spectre de généralité dont il dispose dans sa totalité.

103. Gaston Bachelard, *Le Nouvel esprit scientifique* (1934), p. 7, éd. PUF, 1999.

104. Les notions de « largeur spectrale », de spectre « large » ou « étroit », etc. sont empruntées au lexique de la spectroscopie.

5.3.2. EXPERIENCE/ OBSERVATION

Toutes les expériences ne s'intègrent pas simplement dans une démarche scientifique. En pratique, à l'école, elles ne sont utilisables que si elles sont raisonnablement fiables, bien documentées et opportunes.

Méthodologie scientifique	Expérience/ Observation	Discours & Représentations	Argumentation & Théorisation
	Opportunité 3.2.1. <i>Fiabilité</i> Reproductibilité 3.2.2.1. Robustesse 3.2.2.2. <i>Documentation</i> Exhaustivité 3.2.3.1. Economie 3.2.3.2.		

3.2.1. Opportunité

En cours de sciences, les élèves peuvent être tentés de manipuler du matériel sans réflexion préalable ni intention particulière, que ce soit pour donner au maître l'impression qu'on travaille ou dans l'espoir d'un succès plus ou moins "magique". Lorsqu'ils agissent de la sorte, leurs expériences ne peuvent être considérées comme scientifiques. Il en est de même des expériences réalisées uniquement pour le plaisir de manipuler, "juste pour s'amuser" comme disent les élèves.

Formulation

Critère d'opportunité

L'expérience menée vise à acquérir ou à éprouver des connaissances spécifiques.

Commentaires

a/ L'opportunité d'une expérience fait en général peu de doute dans le cas d'une expérience contrôlée, conçue par l'élève autour de paramètres pertinents dûment identifiés, donc d'un modèle opératoire du phénomène considéré. Elle peut être moins évidente pour lui lorsqu'il reproduit une expérience conçue par le maître. Il est alors utile de s'assurer que l'élève peut en justifier la réalisation (sans que cette justification, qui peut évoluer à mesure qu'il affine sa compréhension de l'expérience, soit nécessairement, au début du moins, la même que celle du maître).

b/ Des expériences sauvages, "pour voir ce qui se passe", peuvent aussi s'avérer opportunes. C'est en particulier le cas au début d'une étude, lorsqu'on ignore encore tout d'un phénomène ou, quand on en a identifié les paramètres pertinents, lorsqu'on ne dispose pas pour autant de modèle opératoire. Une expérience peut alors constituer une pièce majeure de la construction d'un tel modèle, ce qui suffit amplement à la justifier.

Inversement, la même expérience "pour voir" est rarement opportune lorsqu'on dispose déjà d'un modèle opératoire du phénomène, qui

permettrait de concevoir une expérience contrôlée plus adaptée ; elle est alors plutôt, au contraire, révélatrice d'un manque de réflexion préalable.

Les circonstances de l'expérience sont donc déterminantes. En outre, la même expérience peut avoir une finalité scientifique pour les élèves et purement pédagogique pour le maître.

c/ Remarque : Une observation accidentelle n'est pas scientifique en soi. Elle peut néanmoins le devenir lorsqu'elle sert de déclencheur à une démarche scientifique complète, dans laquelle elle vient alors s'intégrer¹⁰⁵.

3.2.2. Fiabilité de l'expérience

Par opposition à la magie, réputée ne fonctionner que si elle est pratiquée par un mage, une même expérience scientifique¹⁰⁶ bien menée doit en principe toujours produire les mêmes résultats, quel que soit l'opérateur, le lieu ou le moment où elle est réalisée. C'est cette propriété qui permet à d'autres scientifiques de s'appuyer, sans forcément les refaire toutes, sur les résultats d'expériences antérieures dont la fiabilité a été dûment établie par les premiers opérateurs.

Dans la mesure où deux expériences ne sont jamais strictement identiques,¹⁰⁷ nous distinguons donc ici deux critères associés respectivement aux propriétés de *reproductibilité* et de *robustesse* qui prennent en compte les inévitables variations.

3.2.2.1. Reproductibilité locale

Nous parlerons ici de reproductibilité *locale* d'une expérience pour tenir compte des spécificités de l'enseignement des sciences à l'école. La science professionnelle a une lecture plus exigeante de la reproductibilité, mais faire appel à une communauté plus large que celle de la classe est une pratique qui n'est ni courante ni facile à mettre en œuvre pour les enseignants. On se contentera donc d'une reproductibilité assurée dans la classe et le temps d'une séquence d'enseignement.

Formulation

Critère de reproductibilité locale

Le résultat d'une expérience ne dépend pas de l'observateur ; son énoncé peut être testé par n'importe quel observateur présent.

105. Et ce quelle que soit la nature ou le contexte de cette observation ; « *Anything goes* », pour reprendre la fameuse expression de Paul Feyerabend, *Against Method : Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, 1975, 27-8 (*Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, éd. Seuil, trad. française 1979).

106. Ou une même série d'expériences, lorsque chaque réalisation individuelle implique un élément statistique.

107. « *Quand le même antécédent se reproduit, le même conséquent doit se reproduire également ; tel est l'énoncé ordinaire. Mais réduit à ces termes ce principe ne pourrait servir à rien. Pour qu'on pût dire que le même antécédent s'est produit, il faudrait que les circonstances se fussent toutes reproduites, puisqu'aucune n'est absolument indifférente, et qu'elles se fussent exactement reproduites. Et, comme cela n'arrivera jamais, le principe ne pourra recevoir aucune application.* »

Henri Poincaré, *La Valeur de la science* (1905) ; pp. 177 et 182, éd. Champs Flammarion, 2007.

Tester la reproductibilité d'une expérience impose dans tous les cas de la reproduire et de confronter le nouveau résultat à celui précédemment obtenu. Par surcroît, l'indépendance envers l'observateur ne peut être testée que si plusieurs personnes différentes font l'expérience.

L'énoncé du résultat obtenu lors d'une expérience donnée peut prendre en compte une marge d'erreur, et il est nécessaire de définir une dispersion acceptable des résultats d'une expérience à l'autre. Mais compte tenu de ces réserves, il suffit qu'un seul résultat obtenu diffère significativement du résultat énoncé pour que l'expérience initiale ne puisse pas être considérée comme reproductible (au moins jusqu'à l'explication de la dissonance).

Commentaires

a/ La comparaison des observations porte sur l'énoncé du résultat de l'expérience plutôt que sur le résultat lui-même, dans la mesure où certains résultats expérimentaux ne se réduisent pas aisément à une donnée quantitative objective.

La formulation du résultat est donc une étape essentielle de toute démarche expérimentale, et l'une des clefs de sa fiabilité. A l'école, un énoncé mal formulé empêche souvent la reproduction d'une expérience par ailleurs correcte. Un travail de reformulation de ses conclusions avec le maître permet alors bien souvent à une expérience de passer le test de reproductibilité avec succès.

b/ Précision des mesures

A l'école élémentaire, la pertinence d'une formulation peut inclure la gestion des quantités et de la précision des mesures. Dans le cas de résultats quantitatifs, la sensibilité du matériel détermine la fiabilité des mesures réalisées et donc des résultats. Un résultat trop précis s'avérera souvent non reproductible, quand un autre énoncé intégrant par exemple des barres d'erreur le sera sans problème. Le choix de l'échelle de résolution des mesures et la précision de la barre d'erreur peuvent ainsi s'avérer essentiels pour la reproductibilité d'une expérience.

c/ Contrôle des conditions de l'expérience

Une expérience peut également s'avérer non reproductible par défaut d'un contrôle suffisant des conditions de l'expérience. Une façon de remédier au problème est alors de comparer plus en détail les conditions expérimentales et les conditions initiales. Après identification des différences et, donc, de nouveaux paramètres susceptibles d'être pertinents, l'opérateur peut modifier l'énoncé de son résultat en conséquence. Un nouveau test de la reproductibilité de l'expérience (et du nouvel énoncé de son résultat) peut alors être réalisé.

d/ Dispersion statistique

Pour autant, une expérience ne peut jamais être entièrement contrôlée et deux expériences ne peuvent jamais être strictement identiques. Cet état de fait entraîne une inévitable dispersion des résultats de mesure, heureusement mineure si le défaut de contrôle ne concerne que des

paramètres réputés non pertinents. Une étude rigoureuse de cet effet passe par un traitement statistique, la valeur des paramètres non contrôlés étant considérée comme une variable aléatoire. Ces valeurs se distribuent souvent selon une courbe de Gauss, caractérisée par une valeur moyenne et un “écart-type”¹⁰⁸.

Les paramètres concernés peuvent être externes (cf. *infra*, § 3.2.2.2, *Robustesse d’une expérience*) ou internes. Une source interne de dispersion statistique apparaît lorsqu’on effectue une mesure non pas sur l’ensemble d’un système, mais sur une sous-partie, présumée représentative de l’ensemble (e.g. prélèvement d’un peu d’eau du robinet par différents groupes d’élèves). Chaque sous partie constitue alors un “échantillon”, dont les propriétés ne sont pas exactement les mêmes que celles de l’ensemble.

e/ *Gestion de la dispersion*

Le traitement formel de cette difficulté statistique est inaccessible à des élèves d’école primaire. À ce niveau, un premier travail consiste à accepter qu’il n’y a pas forcément de résultat plus “vrai” que les autres et qu’une légère dispersion est donc acceptable — mais qu’une trop forte dispersion des résultats ne l’est pas — et qu’il faut tenir compte de l’ensemble des résultats et donc de leur dispersion.

En classe, cela se traduit par une formulation prudente des résultats avec des expressions du genre “aux environs de”, “à peu près”. L’effet est le même que pour la gestion des incertitudes des mesures.

L’écart tolérable à la valeur attendue, c’est-à-dire le sens concret des “environs de”, peut être défini par l’enseignant, ou défini collectivement, en sollicitant le jugement des élèves, ce qui revient à leur faire intuitivement un comportement statistique, avec l’assistance de l’enseignant. On constate que certains résultats reviennent plus souvent que d’autres (avec les plus âgés on peut construire un diagramme en bâtons). S’il existe une valeur autour de laquelle on peut rassembler les résultats, tous pouvant être considérés comme “proches” de cette valeur, la dispersion est considérée comme acceptable : les résultats sont considérés comme concordants et l’expérience reproductible.

Un corollaire est qu’une même expérience pourra ou non être considérée comme reproductible selon le degré d’exigence que l’on impose à la dispersion des résultats. À la limite, si l’on ne prenait en compte aucune source de dispersion, la dispersion acceptable est nulle — et aucune expérience ne peut jamais s’avérer reproductible. Concrètement, toutefois, la limite de dispersion acceptable ne saurait être inférieure à la précision de la mesure, toujours finie.

108. Pour une loi “normale” de répartition d’une variable aléatoire, on attend que plus des deux tiers des résultats se situent à moins d’un écart-type de la valeur moyenne, et plus de 95 % à moins de deux écarts-type.

Organigramme de décision de la reproductibilité locale d'une expérience

Cet organigramme synthétise la séquence d'actions à mener pour tester la reproductibilité d'une expérience.

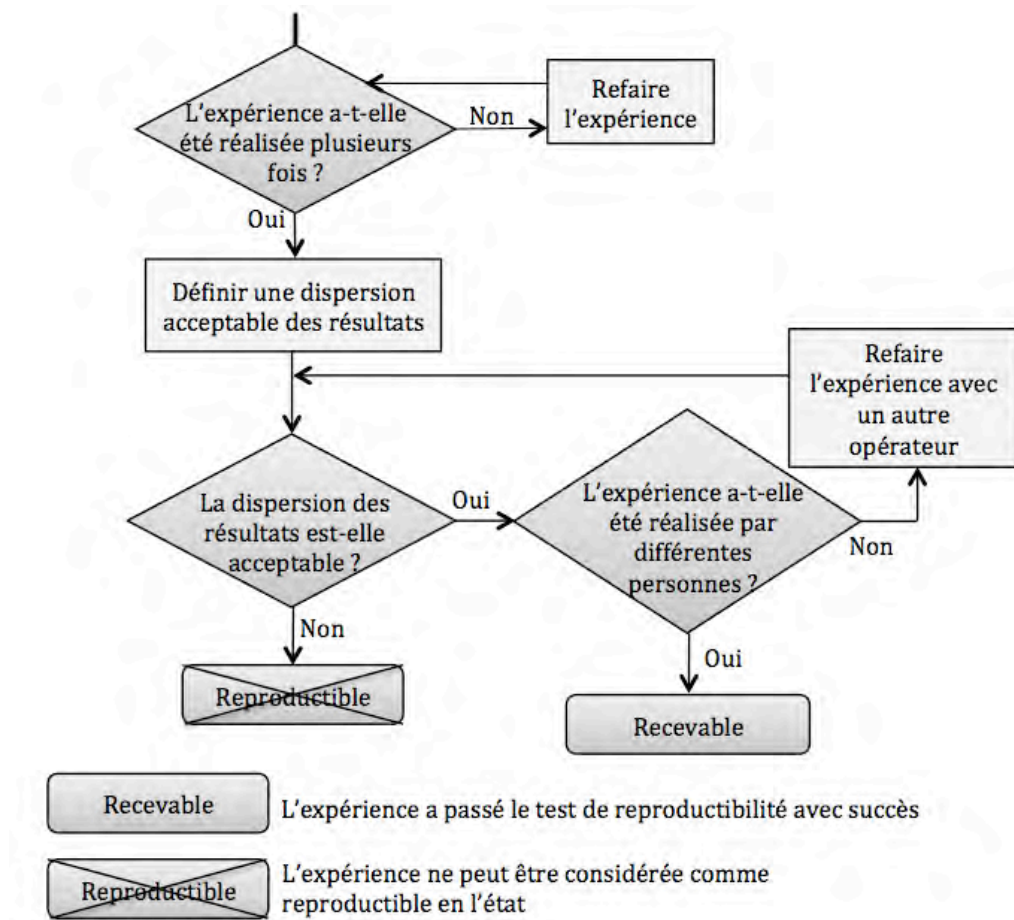


Figure 3.2.2.1. : Organigramme de décision de la reproductibilité locale d'une expérience

3.2.2.2. Robustesse

Formulation

Critère de robustesse

Une modification mineure des conditions de l'expérience ne modifie pas dramatiquement son résultat.

Lorsqu'on dispose d'un modèle opératoire du phénomène étudié, celui-ci définit explicitement les paramètres pertinents et, *a contrario*, au moins implicitement, les paramètres présumés non pertinents. Le test de robustesse comporte alors deux volets. D'une part, il s'agit de vérifier qu'aucune variation raisonnable¹⁰⁹ d'un paramètre présumé non pertinent (réputée

109. Il va de soi qu'il est toujours possible d'exagérer jusqu'à l'absurde les variations d'un paramètre normalement muet, et qui cesse alors de l'être (techniquement, jusqu'à l'apparition d'un régime non linéaire). Ainsi, la nature de l'éclairage utilisé pour observer l'apparition de bulles dans une casserole

mineure au regard de l'expérience, par définition, même lorsqu'elle est quantitativement important¹¹⁰) ne modifie dramatiquement le résultat de l'expérience. D'autre part, il s'agit de vérifier qu'une petite variation d'un paramètre pertinent ne le modifie pas non plus dramatiquement¹¹¹. La notion de variation "mineure" des conditions est intimement liée à celle de modèle¹¹².

En l'absence d'un modèle opératoire de l'expérience, il est impossible d'identifier ce qu'est une modification "mineure" des conditions expérimentales et donc de tester à proprement parler le critère. Il faut dans un premier temps se construire une représentation de l'expérience¹¹³.

Commentaires

Une variation des conditions de l'expérience implique normalement une variation du résultat. La capacité (ou non) de l'expérimentateur à identifier ces variations va donc avoir des conséquences sur son évaluation de la réussite (ou non) du test de robustesse.

a/ Caractère "dramatique" de la différence entre deux résultats

La distinction entre résultat "dramatiquement différent" ou non est limpide lorsqu'on s'en tient à des expériences qualitatives. Tout changement qualitatif du résultat est alors significatif et la modification "dramatique" par construction.

La distinction est plus délicate pour des expériences quantitatives. On n'obtient jamais, dans l'absolu, deux fois les mêmes mesures. Toutefois, la différence entre ces mesures peut ne pas être mesurable. Une variation mesurable du résultat pourra dans certains cas être considérée comme "dramatique".

d'eau importe peu — mais son remplacement par un laser de puissance capable de porter le point d'impact à ébullition changerait drastiquement les conditions de l'expérience.

110. En toute rigueur, il faudrait encore distinguer les paramètres bornés, comme par exemple la position d'une planète sur son orbite, de ceux qui peuvent diverger, comme la température que l'on peut faire varier dans une gamme très étendue. Il va de soi que dans ce second cas on restera dans les limites du raisonnable.

111. Il existe des phénomènes que les physiciens appellent "critiques" pour lesquels une infime variation d'une condition de l'expérience introduit une grande variation quantitative du résultat (e.g. flambage d'une poutre). Nous ne nous attarderons pas sur cette difficulté qui ne se pose *a priori* pas à l'école primaire.

112. « Aussi, pour dire que certaines façons de faire varier les faits sont importantes et que d'autres ne le sont pas, on se fonde à l'arrière-plan sur des suppositions de base que nous admettons — peut-être à l'issue de recherches antérieures — et qui portent sur l'influence probable des facteurs à faire varier dans le phénomène que l'hypothèse concerne. » Carl Hempel, *Eléments d'épistémologie* (*Philosophy of Natural Science*, 1966), p. 56, éd. Armand Colin, 2006.

113. Rien n'empêche cependant de tester la réponse de l'expérience face à des modifications arbitraires des conditions. C'est d'ailleurs une procédure utile quand on cherche à construire un modèle. En présence d'une modification dramatique du résultat, on envisagera d'avoir mis le doigt sur un paramètre pertinent, dans le cas contraire sur un paramètre qui ne l'est pas. En réitérant suffisamment le procédé, on peut se faire une idée suffisamment précise pour aboutir *in fine* à un modèle de l'expérience. On se retrouve alors ramener à la situation précédente où la vérification du critère de robustesse a tout son sens.

b/ *Modification mineure*

La variation du résultat est associée à celle d'une condition de l'expérience. Il revient à l'expérimentateur de poser, *avant* l'expérience, ce qu'il considère comme une modification mineure du paramètre pertinent testé.

Dans le cas où cette variation est qualitative, le seul outil à sa disposition est le modèle de l'expérience. Pour un paramètre présumé non pertinent, n'importe quelle variation est *a priori* mineure, dans les limites du raisonnable. Le test est réussi en absence de changement qualitatif du résultat.

Dans le cas où cette variation est quantitative, pour un paramètre présumé non pertinent, le test de robustesse est réussi quand, pour une variation quelconque de ce paramètre (dans les limites du raisonnable toujours), il n'y a pas de variation mesurable du résultat. Pour un paramètre pertinent, une variation mineure sera une variation non mesurable¹¹⁴ ou une variation dont on renonce à mesurer l'importance. Le test est réussi en absence de variation mesurable du résultat.

c/ *Echec au test de robustesse*

En cas d'échec du test de robustesse, l'expérimentateur n'est pas complètement démuni. Il peut modifier son modèle et, sur ces nouvelles bases, tester à nouveau la robustesse de son expérience (un paramètre présumé pertinent peut ne pas l'être finalement...). Pour les expériences quantitatives, il peut également remettre en cause la précision utilisée pour mesurer les différentes variations.

Reprenons l'exemple du sablier comme illustration. Un opérateur a rempli son sablier de 3 cuillerées de sable et mesure le temps qu'il faut au sablier pour se vider avec une précision de ± 3 secondes. La quantité de sable, quantifiée en cuillères, est présumée pertinente. Le résultat, disons d'une minute plus ou moins 3 secondes, est quantifié. L'opérateur vide son sablier, prélève de nouveau 3 cuillerées de sable et mesure le temps qu'il faut à ce sablier pour se vider. Avec la résolution choisie, la variation de la quantité de sable (qui existe) n'est pas mesurable. Si cette durée est comprise entre 57 et 63 secondes, l'expérience est réputée posséder une certaine robustesse (que confortera la répétition de l'opération). Dans le cas contraire, l'opérateur peut considérer que son expérience n'est pas robuste ; mais il y a cependant fort à parier qu'il préférera remettre en cause sa façon de mesurer une cuillerée de sable. Il renouvellera l'expérience en changeant la résolution de cette mesure en utilisant des cuillerées "rases" ou en choisissant un contenant plus précis pour quantifier la quantité de sable utilisée.

114. Dans le cas où l'on mesure la variation d'un paramètre pertinent, on n'a plus affaire à une variation des conditions de l'expérience mais à une autre expérience, avec une valeur différente du paramètre considéré.

Organigramme de décision de la robustesse d'une expérience

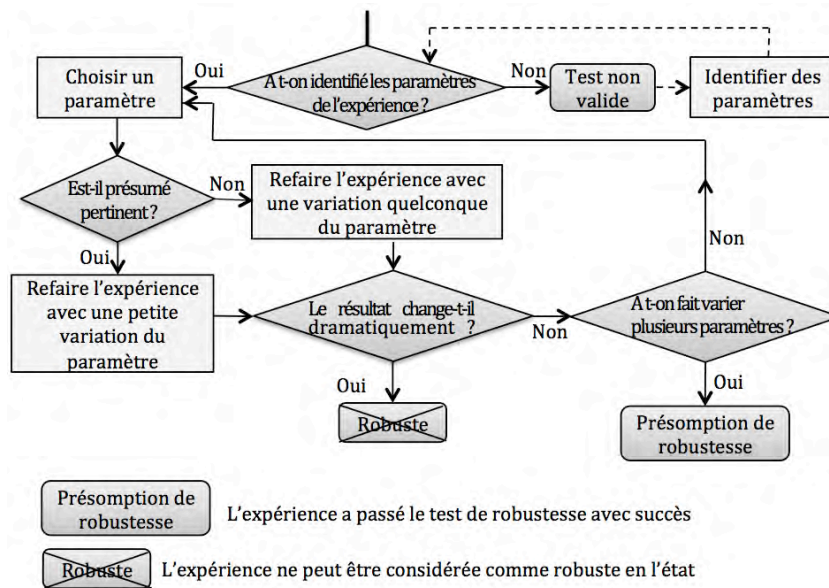


Figure 3.2.2.2. : Organigramme de décision de la robustesse d'une expérience

Un test de robustesse est également justiciable du critère de reproductibilité et il peut être utile de faire varier plusieurs fois le même paramètre.

3.2.2.3. Organigramme de décision de la fiabilité d'une expérience

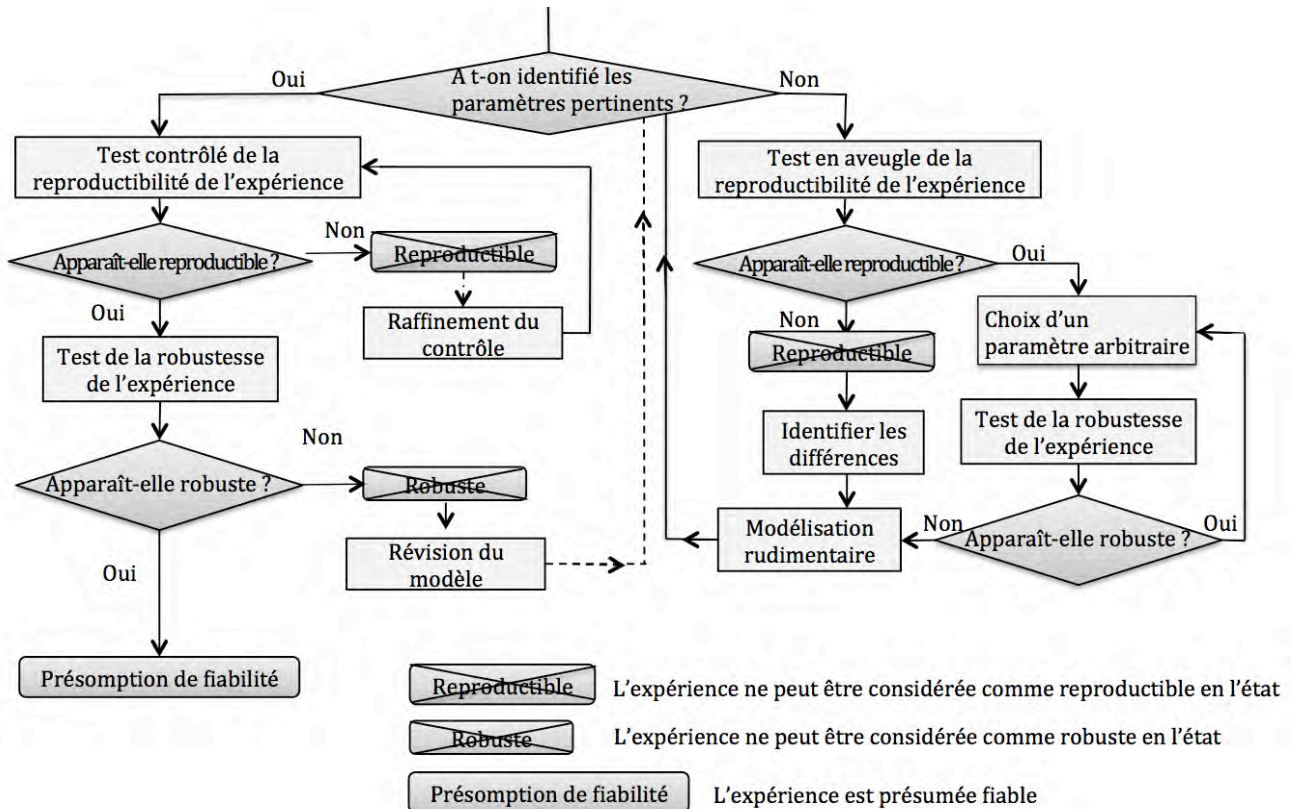


Figure 3.2.2.3. : Organigramme de décision de la fiabilité d'une expérience

3.2.3. Documentation

Le choix des éléments retenus pour documenter une expérience ou une observation est un élément important de la démarche scientifique, la circulation des résultats étant un élément essentiel à l'établissement d'une communauté scientifique. Ce choix est toujours un compromis : *ni trop, ni trop peu*. Par souci de simplicité, nous distinguerons donc deux contraintes applicables à la documentation d'une expérience : les critères d'*exhaustivité* ("ni trop peu") et d'*économie* ("ni trop").

3.2.3.1. Exhaustivité (de la documentation)

Formulation

Critère d'exhaustivité

Tous les éléments potentiellement significatifs d'une expérience ou d'une observation sont explicites dans sa documentation.

Pour un opérateur donné, certaines informations sont *significatives*¹¹⁵ et d'autres ne le sont pas. Pour d'autres informations encore, le scientifique ne sait pas *a priori* si elles le sont ou non.

Par ailleurs, le fait qu'une information est significative, c'est à dire porteuse de sens, dépend des hypothèses émises et du cadre théorique¹¹⁶. Il est relativement facile de faire la part des informations significatives lorsqu'on dispose d'un cadre théorique bien établi (pour autant que ce cadre théorique soit valide). *A contrario*, les éléments non pris en compte par la théorie sont réputés non significatifs dans ce cadre.

À l'école, l'identification des éléments significatifs ne va pas forcément de soi *a priori*. Le cadre théorique est souvent très sommaire. Les élèves y manipulent majoritairement des lois élémentaires et les testent par l'expérimentation. En pratique, lorsqu'une expérience cherche à répondre à une question posée et que les élèves testent une hypothèse, ils savent quelles sont les informations significatives dans ce cadre pour eux (jusqu'à preuve du contraire).

Pour les éléments qu'on sait significatifs, le traitement est simple : soit ils sont présents dans la documentation et tout va bien, soit ils n'y sont pas et la documentation n'est pas exhaustive. Les choses sont plus complexes lorsqu'un opérateur ne sait pas si une information est significative ou non. Elle doit alors être considérée comme *potentiellement significative*.

Le test consiste alors à demander pourquoi tel ou tel élément a été omis dans la documentation, au moment où elle est présentée. Celle-ci continue à être considérée comme exhaustive s'il y a apport d'une information justifiant que

115. Voir Etat des lieux pour la définition. Un traitement de l'identification des éléments significatifs à l'école est proposé en annexe 2.A., pp. 403-405 (*Sciences à l'école côté jardin*).

116. D'après Carl Hempel « *On ne peut qualifier de significatifs des faits ou des découvertes empiriques que par rapport à une hypothèse donnée, et non par rapport à un problème* ». « Critères de confirmation et d'acceptabilité », *Éléments d'épistémologie (Philosophy of Natural Science, 1966)*, p.18, éd. Armand Colin, 2006. On y trouvera également plusieurs exemples détaillés de la relation entre établissement d'une hypothèse et éléments considérés comme significatifs pour cette hypothèse (expérience de Semmelweis, du Puy-de-Dôme).

l'élément questionné n'est pas significatif. Dès lors que l'omission d'au moins un élément n'est pas justifiée, la documentation ne peut pas être considérée comme exhaustive. L'apport d'une justification à l'omission d'un élément de la documentation détermine son exhaustivité.

Commentaires

a/ « *Dépertinence* »¹¹⁷ d'une documentation

Le critère d'exhaustivité n'inclut pas d'évaluation de la *validité* des justifications présentées.

Considérons le cas où une justification particulière a conduit l'opérateur à exclure un élément de la documentation. La documentation est alors exhaustive et donc (si les autres critères sont également vérifiés) pleinement recevable. La même justification peut être ultérieurement reconnue comme erronée, et l'élément manquant comme significatif. L'ancienne documentation ne peut alors plus être considérée comme exhaustive dans ce nouveau cadre. Pour autant, on ne peut pas reprocher à celui qui l'a établie un manque de scientificité, ou de ne pas avoir pris en compte un argument qui n'existait pas lorsqu'il a établi sa documentation. La scientificité de sa démarche doit donc être évaluée au regard des éléments dont il pouvait disposer. Elle reste exhaustive dans l'ancien cadre car la justification, même fausse, existe mais elle perd sa pertinence puisqu'elle ne fournit pas un élément que l'on sait maintenant significatif. Un complément de documentation sur cet élément peut en revanche lui restituer son intérêt.¹¹⁸

L'histoire des sciences fournit également de nombreux exemples de documentations d'expériences dont un élément significatif a été omis parce qu'à l'époque personne n'a conscience de son existence¹¹⁹. A ce moment-là, tout le monde s'accorde pour dire qu'elle est exhaustive. L'exhaustivité de la documentation d'une expérience n'est pas absolue, mais perçue et évaluée par l'utilisateur du critère, quel qu'il soit, à un moment donné, en fonction des éléments dont il dispose. La documentation initiale, exhaustive à l'époque, ne perd pas aujourd'hui sa scientificité, au regard de l'époque considérée, mais elle peut s'être "périmée" par rapport au savoir actuel. En revanche, un opérateur qui

117. J'emprunte le terme à Jean-Marc Lévy-Leblond.

118. « *C'est ainsi que les expérimentateurs du CERN ont, il y a quelques années, dû se rendre à l'évidence : le faisceau de particules de leurs accélérateur montrait de délicates et mystérieuses fluctuations en énergie, qui se révélèrent couplées aux phases de la Lune !* » raconte Jean-Marc Lévy-Leblond dans *Aux contraires* (p. 259, éd. Gallimard, 1996). Les physiciens justifiaient l'absence de prise en compte des phases de la Lune par son influence jugée négligeable devant les forces exercées dans l'accélérateur. Mais "les physiciens eux-mêmes ne sont pas à l'abri de surprises quant à l'influence de phénomènes physiques lointains". En cherchant à comprendre l'anomalie observée par rapport au modèle initial, ils ont identifié les effets de marée terrestre comme la source du mystère et modifié en conséquence leur documentation.

119. Ainsi, la théorie de la gravitation de Newton établit que l'accélération d'un corps en chute libre dépend de sa distance au centre de gravité de la Terre, et donc que sa valeur à un endroit donné ($g \sim 9,81$ m.s⁻² à Paris), dépend de l'altitude. Celle-ci est donc un paramètre pertinent, qu'il convient de documenter. Mais lorsque Galilée, à la fin du siècle précédent, engage ses expériences sur la chute des corps, la mise en évidence de l'existence de cette "constante" est un modèle d'expérimentation scientifique, même s'il omet de documenter ce paramètre dont il n'a aucun moyen de pressentir l'importance.

aujourd'hui présenterait une documentation identique ne fournirait pas une documentation exhaustive.

b/ À l'école les élèves sont encadrés par un enseignant qui connaît en général les éléments significatifs pour l'expérience qui est réalisée, à la différence des chercheurs professionnels. Un guidage est donc toujours possible.

c/ Il est fréquent qu'une documentation rende compte de plusieurs expériences. Lorsqu'une expérience est répétée plusieurs fois, afin d'éviter une documentation à rallonge où chaque réalisation serait décrite en détail, l'opérateur condense la présentation. Pour rendre compte des résultats accumulés, il effectue alors un traitement de ses résultats. La documentation doit inclure toutes les informations nécessaires pour une évaluation non biaisée des résultats obtenus¹²⁰. Un opérateur qui exclurait des résultats non conformes à ce qui était attendu ou éliminerait sans motif valable certaines expériences "ratées" ou certains résultats "mauvais" ne produirait pas une documentation exhaustive¹²¹.

Organigramme de décision de l'exhaustivité d'une documentation

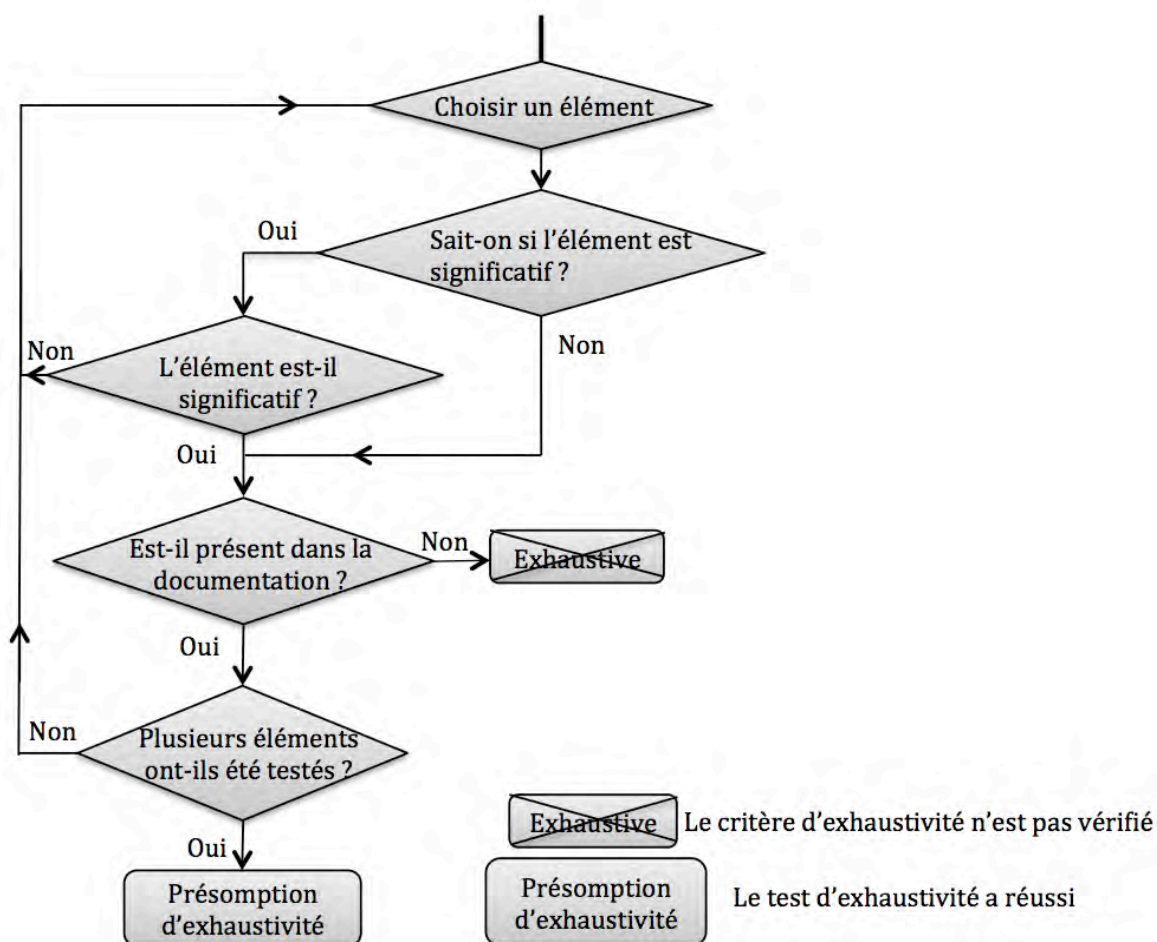


Figure 3.2.3.1. : Organigramme de décision de l'exhaustivité d'une documentation

120. cf. Addendum 5.a.

121. Charles Babbage (1830), *Reflections on the Decline of Science in England*. Londres : B. Fellowes.

3.2.3.2. Économie (de la documentation)

Et pour les expériences que les autres ont déjà faites, quand bien même ils les lui voudraient communiquer, ce que ceux qui les nomment des secrets ne feraient jamais, elles sont, pour la plupart, composées de tant de circonstances, ou d'ingrédients superflus, qu'il lui serait très malaisé d'en déchiffrer la vérité ; outre qu'il les trouverait presque toutes si mal expliquées, ou même si fausses, cause que ceux qui les ont faites se sont efforcés de les faire paraître à leurs principes, que, s'il y en avait quelques unes qui lui servissent, elles ne pourraient derechef valoir le temps qu'il lui faudrait employer à les choisir.

René Descartes, *Discours de la méthode*¹²²

Le monde qui nous entoure est très complexe et la documentation d'une expérience nécessairement finie. Une documentation ne peut donc décrire une expérience physique dans sa totalité. Ce n'est d'ailleurs pas son objectif. Au contraire, elle peut contenir un grand nombre d'éléments qu'on sait non significatifs. Le temps passé à sa consultation étant précieux, ils l'encombrent inutilement.

Formulation

Critère d'économie

Seuls les éléments significatifs ou potentiellement significatifs d'une expérience ou d'une observation sont présents dans sa documentation.

Le test consiste à demander *pourquoi* on a choisi d'intégrer tel ou tel élément dans la documentation. Dès lors que la réponse est "c'est un élément significatif" ou "je ne peux pas exclure que cet élément soit significatif" (ou "je ne sais pas si cet élément est significatif ou non"), l'élément questionné a sa place dans la documentation. En revanche, si l'élément questionné s'avère non significatif, la documentation ne peut pas être considérée comme économe.

Commentaires

a/ Le critère d'économie ne préjuge pas de la justesse des justifications fournies.

b/ Ce critère limite la documentation aux éléments nécessaires pour remplir la condition d'exhaustivité. Un élément dont l'omission dans la documentation peut être justifiée n'a donc pas sa place dans celle-ci.

c/ Comme pour l'exhaustivité, le regard que l'on porte sur une documentation évolue avec le temps et les connaissances acquises. En particulier, de nouveaux résultats peuvent établir qu'un élément donné n'est pas significatif pour une expérience. Cet élément, qui devait jusque là être présumé potentiellement significatif, n'a alors plus sa place dans la documentation.

122. René Descartes, *Discours de la méthode*, op. cit., p. 108.

d/ Documentation vs. stockage de masse

Dans la mesure où, on l'a vu, le statut d'une information doit parfois être reconsidéré au regard de nouvelles hypothèses ou dans un nouveau cadre théorique, l'opérateur qui rassemble pour lui-même les informations sur une expérience en cours a tout intérêt à ne pas être économe. L'exigence d'économie ne s'applique pas au stockage de masse.

Lorsque l'opérateur communique sa documentation, en revanche, le tri préalable des informations significatives ou non doit avoir été réalisé et la documentation présentée doit être économe.

3.2.3.3. Organigramme de décision général pour la documentation

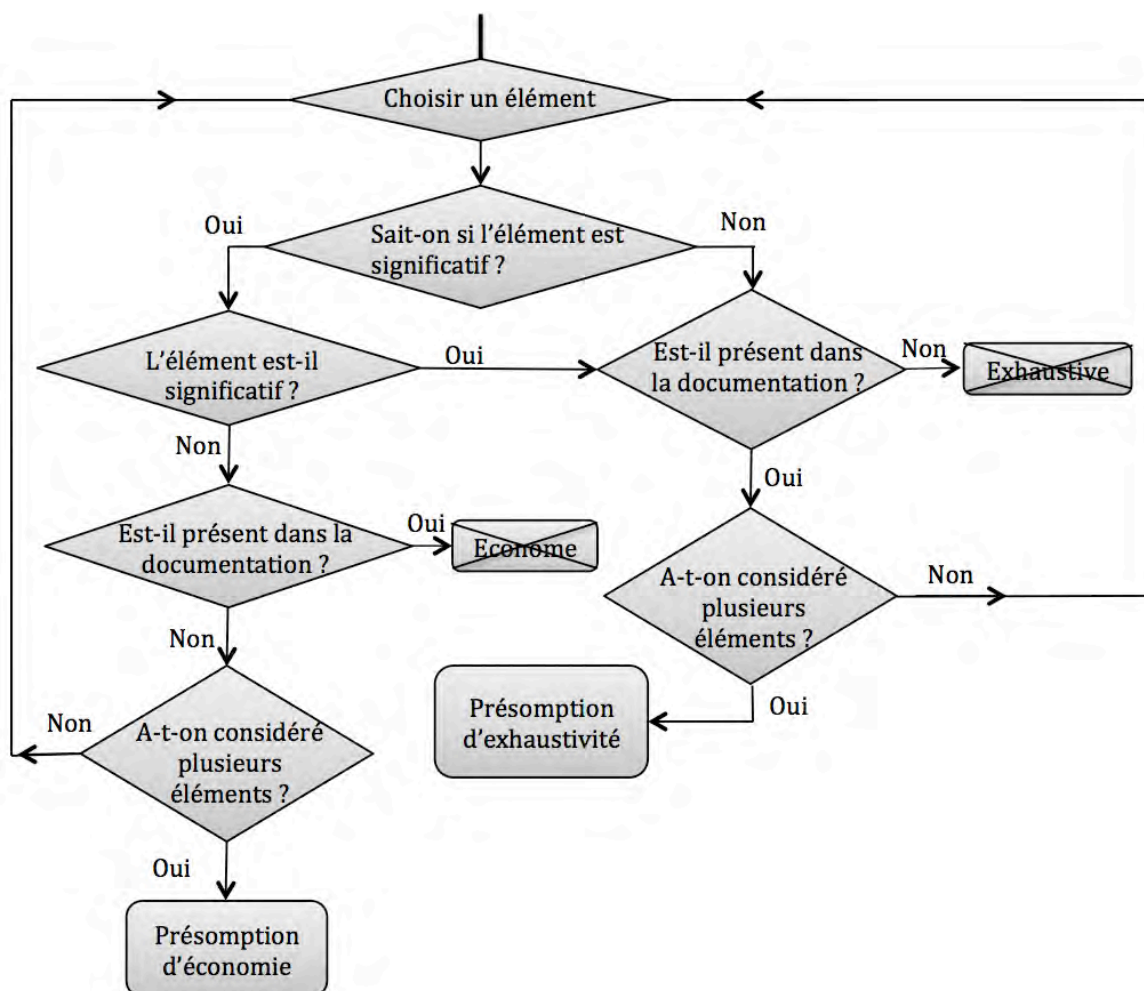


Figure 3.2.3.3. : Organigramme de décision général pour la documentation

5.3.3. DISCOURS ET REPRÉSENTATIONS

Des normes de toutes sortes — sociales, grammaticales, etc. — s'appliquent à l'expression des élèves. La plupart, comme l'orthographe d'une proposition, portent sur des énoncés individuels. La scientificité du discours s'apprécie en revanche globalement : c'est l'ensemble du discours qui doit être cohérent (cohérence lexicale 3.3.1, non contradiction interne 3.3.3.1.), s'inscrire dans un contexte élargi (non contradiction externe 3.3.3.2., relativité 3.3.5.) et contribuer à l'avancement des connaissances communes (non vacuité 3.3.4.). La scientificité d'une représentation symbolique s'apprécie aussi globalement, en lien avec les éléments de discours qui l'accompagnent (cohérence symbolique 3.3.2.).

Méthodologie scientifique	Expérience / Observation	Discours & Représentations	Argumentation & Théorisation
		Cohérence lexicale et symbolique Cohérence lexicale 3.3.1.1. Cohérence symbolique 3.3.1.2. Non contradiction Non contradiction interne 3.3.2.1. Non contradiction externe 3.3.2.2. Non vacuité 3.3.3. Relativité 3.3.4.	

3.3.1. Cohérence lexicale et symbolique

La Science commence là où la signification des mots est étroitement signifiée.
Léon Brillouin¹²³

Lorsque moi j'emploie un mot, il signifie exactement ce qu'il me plaît qu'il signifie.
Humpty Dumpty¹²⁴

Nous distinguerons ici les contraintes liées à un emploi cohérent des mots (3.3.1.1.), et celles relatives aux autres types d'expression symbolique.

3.3.1.1. Cohérence lexicale

Formulation

Critère de cohérence lexicale

Tous les termes employés ont une définition univoque.

123. « La Science commence là où la signification des mots est étroitement signifiée. On peut choisir des mots dans le vocabulaire existant ou bien en fabriquer de nouveaux, mais ils doivent tous avoir une signification telle qu'elle ne conduise à aucun malentendu, à aucune ambiguïté dans les chapitres de la science où on les utilise. [...] L'unicité de la signification d'un mot est caractéristique de la méthode scientifique ». Léon Brillouin, *La Science et la théorie de l'information (Science and Information Theory, 1956)*, page VII, éd. Jacques Gabay, 1988.

124. De l'autre côté du miroir, Lewis Carroll met en scène une communication délicate faite de définition commune des mots. « — Je ne sais pas ce que vous entendez par "gloire" » dit Alice. Humpty Dumpty sourit d'un air méprisant. « — Bien sûr que vous ne le savez pas, puisque je ne vous l'ai pas encore expliqué. J'entendais par là : "Voilà pour vous un bel argument sans réplique !" ». — Mais "gloire" ne signifie pas "bel argument sans réplique", objecta Alice. — Lorsque moi j'emploie un mot, répliqua Humpty Dumpty d'un ton de voix quelque peu dédaigneux, il signifie exactement ce qu'il me plaît qu'il signifie... ni plus, ni moins. » Lewis Carroll, *De l'autre côté du miroir (Through the Looking-Glass, and what Alice Found There, 1872)* ; in *Tout Alice*, p. 281, éd. GF Flammarion, 1979.

L'exigence de cohérence lexicale peut se décomposer en deux contraintes : d'une part, un discours scientifique ne fait usage que de termes ayant une définition explicite ; et d'autre part, chacune de ces définitions n'autorise qu'une seule interprétation.

Commentaires

a/ Dans la vie de tous les jours, la possibilité d'exprimer des idées ou des sentiments encore vagues, ou sans engagement réel du locuteur, est un élément important de sociabilité et de communication entre individus. Les langues naturelles contiennent donc de nombreux termes polysémiques et présentent différents niveaux de langage et de signification, dont savent aussi jouer les poètes — que ce soit pour stimuler l'imagination du lecteur ou pour mieux le dérouter si, comme Lewis Carroll, on fait du *nonsense* un jeu logico-littéraire.

Pour autant, lorsqu'il s'agit de transmettre une idée ou un savoir *précis*, des mots dont le sens change à la guise des locuteurs sont l'un des plus sûrs ingrédients d'une incompréhension mutuelle. L'une des premières exigences du discours scientifique est donc de convenir d'un lexique univoque. Notons toutefois que les termes de ce lexique scientifique, arbitrairement¹²⁵ univoques dans ce contexte, ont parfois d'autres sens dans le langage commun, qu'il aient été forgés à partir de termes existants ou que leur emploi ait été détourné par l'usage vulgaire.¹²⁶

b/ *Connaissance de la définition*

La contrainte de cohérence lexicale ne porte pas sur le lexique lui-même, mais sur son emploi. Pour employer un terme scientifique, il ne suffit donc pas de savoir qu'il existe (et donc que, selon toute vraisemblance, il est défini quelque part dans les manuels...), mais d'être capable d'en donner une définition raisonnablement précise — ou, à tout le moins, d'en connaître le sens et d'être capable d'en retrouver rapidement la définition précise.

Elle revient donc à bannir l'emploi de termes dont on ne connaît pas le sens¹²⁷ (e.g. le mot | pression | utilisé par des écoliers dans un travail sur l'air).

125. Le langage scientifique est capable d'utiliser des mots pratiquement équivalents en leur attribuant arbitrairement des sens spécifiques différents. Ainsi, différents termes latins et grecs relatifs à la lumière (e.g. *lux*, *lumen*, *candela*, etc.) peuvent-ils correspondre à des unités de mesure distinctes en Optique.

126. Les scientifiques du XIX^e siècle, en particulier, attachaient une grande attention à la création de néologismes savants, souvent d'étymologie grecque ou latine (| énergie |, | entropie |, etc.), pour éviter toute possibilité de confusion avec la langue commune ; mais, avec le temps, beaucoup ont été détournés, et l'on ne compte plus, par exemple, les usages abusifs du terme "énergie" dans la publicité. Ce n'est en revanche toujours vrai ni des physiciens du XVIII^e (e.g. travail / force) ni de ceux du XXI^e (e.g. téléportation).

127. Nous reviendrons dans les commentaires sur le critère de non vacuité (§ 5.3.3.3) sur la faute complémentaire qui consiste à employer un terme technique non maîtrisé comme "explication" d'un phénomène.

c/ Univocité de la définition

Une définition univoque implique qu'un même terme soit toujours employé dans le même sens. L'application en est triviale : une fois un terme défini, tout autre emploi en est récusé. Ce souci de maintien du sens d'un mot peut conduire en classe de science à modifier l'appellation usuelle d'un phénomène.

Ainsi, si l'on a défini la vapeur d'eau comme « *de l'eau invisible à l'état gazeux* », ce que l'on *voit* sortir d'une casserole d'eau qui bout ne peut pas être de la vapeur et l'on est conduit à nommer autrement le phénomène (on pourra par exemple parler avec les élèves de *brouillard* ou de *nuage*).

Cela implique également qu'un même mot a un seul sens dans le contexte considéré, à savoir celui du cours de science. Pour exprimer un autre sens porté par le même terme dans le langage courant, il convient alors d'utiliser un autre terme. Il peut bien sûr avoir d'autres sens dans d'autres contextes¹²⁸.

Lors d'une discussion informelle entre pairs, l'enseignant apprécie en fonction du contexte la nécessité ou non d'insister sur le sens de tel ou tel mot employé.

3.3.1.2. Cohérence symbolique

Formulation

Critère de cohérence symbolique

Tous les symboles sont employés de façon univoque.

Un symbole est un élément individuel porteur de sens au sein d'une représentation. Sa nature peut être aussi diverse que celle des représentations scientifiques elles-mêmes, qui peuvent aussi bien être graphiques (schémas, dessins, etc. ; exemple de symbole : un trait horizontal pour représenter le niveau de l'eau dans un récipient) qu'analogiques (ex. : un loup en pâte à modeler), ou même très formelles comme des équations mathématiques.

Commentaires

a/ Les symboles formels (mathématiques, par exemple) renvoient souvent à une définition univoque ; la contrainte de cohérence symbolique s'assimile alors, *mutatis mutandis*, à celle de cohérence lexicale. Leur emploi est toutefois exceptionnel à l'école primaire.

b/ Au primaire, on rencontrera plus souvent des symboles renvoyant à un référent physique¹²⁹. La contrainte est alors qu'un même symbole renvoie toujours au même référent, considéré sous le même aspect.

128. Les collégiens éprouvent parfois des difficultés à gérer la polysémie d'un mot dont le sens n'est pas explicité par leurs enseignants (le |milieu| du mathématicien ne réfère pas à la même chose que celui du géographe ou du biologiste).

129. Du monde 1, dans le langage de Popper, quand le symbole réside dans le monde 3

c/ En revanche, un même référent physique peut être représenté par plusieurs symboles différents, selon l'aspect sous lequel on le considère.

d/ Enfin, la cohérence symbolique ne s'impose que dans un contexte communicationnel donné. Un même symbole simple, une flèche par exemple, peut prendre des significations différentes dans différents contextes, et représenter aussi bien la relation « se transforme en » dans une séquence de chimie qu'un concept comme celui de rayon lumineux lors d'une séquence d'optique.

3.3.2. Non contradiction

Nous nous intéressons ici aussi bien aux expressions individuelles qu'aux expressions collectives, comme le discours ou la représentation institutionnalisés à la fin d'une séquence de classe. Nous distinguerons en revanche, d'une part un discours ou une représentation en eux-mêmes, élaborés au cours d'une unité de temps délimitée (typiquement le temps d'une séance de travail) *au sein* duquel des contradictions sont susceptibles d'apparaître (non contradiction interne, 3.3.2.1.) ; et d'autre part dans leur confrontation à d'autres discours, lorsque des contradictions *entre ces différentes expressions* sont susceptibles d'apparaître (non contradiction externe, 3.3.2.2.).

3.3.2.1. Non contradiction interne

L'exigence de cohérence interne est en fait une contrainte commune à la plupart des disciplines, scientifiques ou non. Aussi ancienne que la science elle-même, elle prend racine dans la logique aristotélicienne¹³⁰. Le travail sur la non contradiction interne est donc résolument transversal et associe intimement sciences et maîtrise de la langue.

Formulation

Critère de non contradiction interne

Le discours ou la représentation n'inclut pas d'éléments contradictoires entre eux.

Le discours¹³¹ peut aussi bien être oral qu'écrit, bref ou long, approximatif ou sophistiqué. On peut en général le décomposer en éléments individuels porteurs de sens — un linguiste parlerait de "sèmes"¹³². Ces éléments peuvent se présenter sous forme de propositions élémentaires déjà bien formées, ou être incorporés à des phrases complexes, nécessitant alors une analyse plus fine.

Un élément de discours peut être une proposition ou une partie de proposition dans le cas d'une proposition noyée dans une autre complète (e.g.

130. En toute rigueur, il arrive aux logiciens modernes de jouer avec des logiques différentes, "non-aristotéliciennes" (cf. par exemple Gaston Bachelard, *La Philosophie du non* (1940), pp. 105-134, éd. PUF, 2008). Mais la question ne se pose pas à l'école primaire.

131. "Discours" et "représentation" s'entendent ici au sens large.

132. Un sème est « une unité minimale de signification, trait pertinent dans l'analyse du sens d'un mot ». Accessible sur le site du Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales : www.cnrtl.fr/definition/sème (consulté le 15/02/2013).

à la proposition « X est rouge et bleu » correspond deux éléments de discours, contradictoires entre eux, « X est bleu » et « X est rouge »).

Commentaires

Deux familles de contradictions internes peuvent être identifiées : celles qui relèvent du fond et celles qui relèvent de la forme.

a/ Pour celles qui relèvent du fond, la résolution est triviale : on ne peut pas dire une chose et son contraire. Si l'on a validé une formulation, on ne peut ensuite soutenir une proposition contradictoire et espérer que cette nouvelle proposition soit validée sans remise en cause de la première. Il y a contradiction et il va falloir la résoudre.

Des élèves ont par exemple observé que la superposition sur un écran blanc d'une source de lumière de couleur verte et d'une autre de couleur rouge colore l'écran en jaune. Ils formulent collectivement que la superposition de lumière rouge et verte sur l'écran donne du jaune, formulation validée par la classe. Ils placent ensuite un objet entre l'écran et les sources lumineuses et observent la formation d'une ombre verte, d'une ombre rouge et d'une zone intermédiaire sombre. Des élèves affirment alors que c'est la superposition des deux ombres rouge et verte qui donne la zone sombre sur l'écran. Cette affirmation entre en contradiction avec l'affirmation selon laquelle la superposition de rouge et de vert donne du jaune sur l'écran.

Il en va de même lorsque qu'une proposition entre en contradiction avec un symbole ou lorsque deux éléments symboliques d'une même représentation se contredisent.

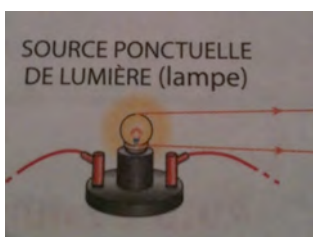


Figure 3.3.2.1.a. : Un exemple de contradiction entre une représentation graphique et son texte d'accompagnement : les rayons ne partent pas d'un point, ce qui constitue pourtant la définition d'une source ponctuelle.¹³³

b/ En ce qui concerne la forme, la contradiction relève souvent d'une maladresse de formulation. Un travail sur la langue est alors nécessaire. À l'école, il arrive ainsi souvent qu'un mot soit pris pour un autre. Il s'agit alors moins d'une contradiction interne que d'un problème de cohérence lexicale.

Cela arrive typiquement avec de très jeunes élèves qui en sont encore à expérimenter sur le langage et n'ont pas encore fixé le sens des mots. Ainsi, un élève de maternelle vient de découvrir les verbes *flotter* et *couler*. Il plonge une cuillère en métal dans l'eau, la voit tomber au fond et dit qu'elle coule. Quelques minutes plus tard il affirme qu'elle flotte. L'enseignant lui rappelle le sens des verbes couler et flotter et l'élève se reprend aussitôt : la cuillère en métal coule, il en est certain.

133. Extrait de *Concours Professeurs des écoles. Préparation à l'épreuve Sciences et Technologie*, p. 397, éd. Nathan, 2008.

Avec des plus grands, la contradiction peut être associée à la méconnaissance du sens d'un mot ou à sa confusion avec le sens d'un autre mot proche. Des élèves s'accordent après avoir travaillé sur un éphéméride pour dire que le jour du début de l'hiver est le jour le plus court de l'année. Ils affirment ensuite que les jours raccourcissent en hiver. Il y a une confusion entre "devenir de plus en plus court" et "être court". Un rappel du sens du verbe raccourcir permet alors de lever la contradiction. Les jours en hiver sont *courts* mais ne *raccourcissent* pas, par définition, après le solstice qui est le premier jour de l'hiver.

Une autre difficulté peut naître d'un manque de précision de la formulation. Ainsi, la phrase équivoque « *le vélo de Luc est rouge et bleu* » peut-elle se décomposer en deux propositions contradictoires entre elles, "le vélo de Luc est rouge" ET "le vélo de Luc est bleu", ou bien signifier, sans contradiction interne, que le vélo est rouge à certains endroits et bleu à d'autres.

Le rapprochement par l'enseignant des différentes affirmations contradictoires énoncées par un élève, la répétition de ce qui vient d'être dit ou sa reformulation sont autant de stratégies qui permettent l'identification des contradictions.

Organigramme de décision pour la contradiction interne

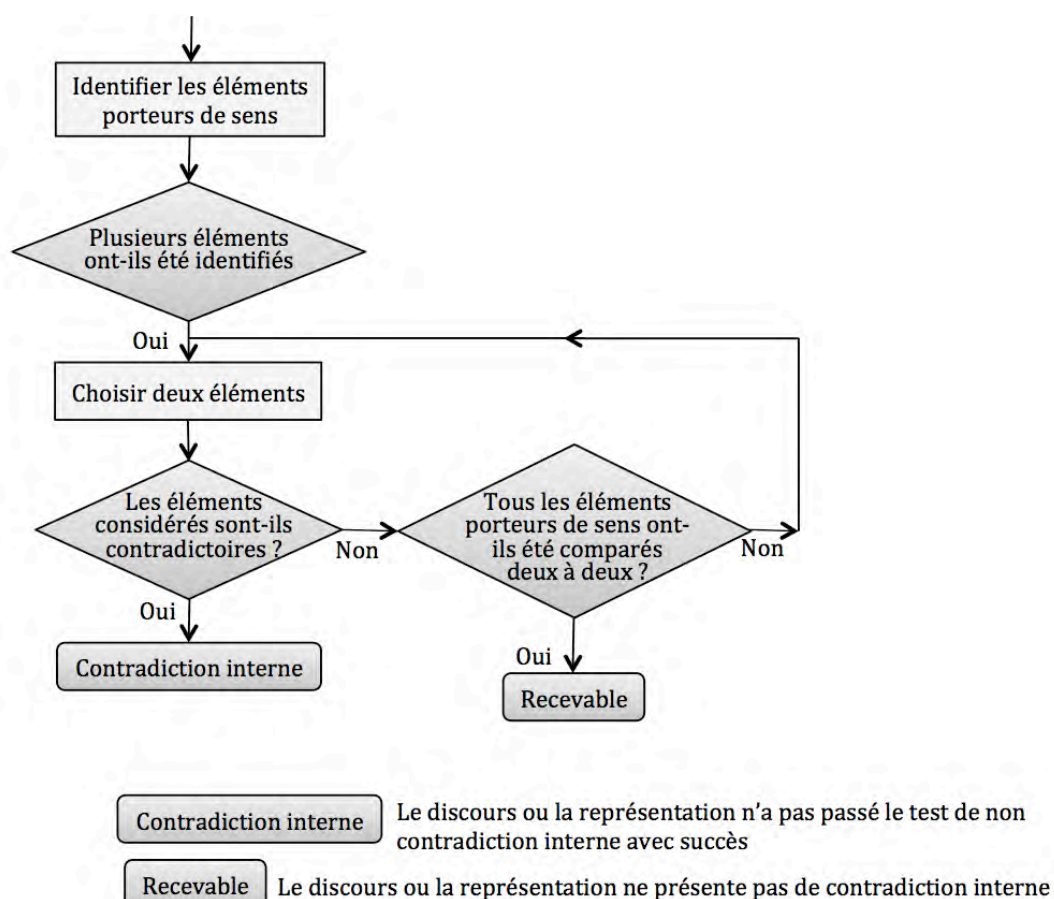


Figure 3.3.2.1.b. : Organigramme de décision pour la contradiction interne

3.3.2.2. Non contradiction externe

Formulation

Critère de non contradiction externe

Le discours ou la représentation n'entre pas gratuitement en contradiction avec le corpus accepté.

Une investigation scientifique peut porter sur des *phénomènes nouveaux*, ou dont on ne sait encore rien, ou encore viser à vérifier, voire à éprouver, des résultats connus, éventuellement obtenus par d'autres. Le plus souvent toutefois, elle porte sur des phénomènes déjà connus à propos desquels il existe des résultats canoniques.

À l'école, on considèrera comme canoniques les documents que l'enseignant a choisi comme ressources documentaires de la classe (manuels, documentaires, etc.), ainsi que l'ensemble des conclusions précédemment établies et institutionnalisées en classe.

Implicitement, tout résultat canonique que le locuteur n'a pas explicitement mis en doute (pour le vérifier) est réputé accepté. L'apparition d'une dissonance avec ces éléments externes constitue donc une contradiction qu'il lui appartient de résoudre.

Commentaires

La contrainte de non contradiction externe implique de confronter le discours et les représentations symboliques produits dans la classe à ceux disponibles dans le corpus de référence.

En cas de dissonance, l'élève peut avoir raison contre le corpus disponible ou accepter son contenu, mais toujours après réflexion. Le constat d'une contradiction entre le discours et le corpus disponible doit être suivi de son traitement. Un rejet désinvolte du corpus suite à la mise en évidence d'une contradiction avec un discours ou une représentation exprimés dans la classe n'est pas acceptable.

La levée d'une contradiction externe par un rejet du corpus établi nécessite un argument fort. Idéalement, la résolution du conflit est expérimentale, en donnant la primauté à l'expérience.

Par exemple, des élèves ont travaillé sur les ombres colorées et interprété la présence sur l'écran d'ombres de différentes couleurs. Leur formulation met en relation la couleur des sources de lumière et celle des ombres obtenues. Dans un manuel, les élèves lisent alors que « *Lorsqu'un objet opaque est éclairé par plusieurs sources, plusieurs ombres sont visibles, chacune étant associée à une source de lumière. Ces ombres ne dépendent pas de la couleur de la source de la lumière, elles sont uniformément sombres* », ¹³⁴ la contradiction externe est claire tout comme sa résolution : ils ont validé l'observation d'ombres dont la couleur dépend de la source et qui ne sont pas uniformément sombres (ou colorées d'ailleurs).

134. *Concours Professeurs des écoles. Préparation à l'épreuve Sciences et Technologie*, p. 397, éd. Nathan, 2008.

Notons que, pour autant du moins qu'ils n'ont pas été institutionnalisés, la coexistence, chez des intervenants différents, de discours contradictoires entre eux ne constitue pas *a priori* un défaut de cohérence externe, donc de scientificité : leur confrontation est au contraire une étape normale de la construction d'un corpus accepté.

3.3.3. Non vacuité

Formulation

Critère de non vacuité

Le discours ou la représentation véhicule des connaissances spécifiques.

Commentaires

a/ En classe de sciences, les élèves ont pour objectif commun de construire des connaissances ou d'assurer des connaissances préexistantes sur un sujet qu'ils se sont fixé comme objet d'étude.

Lorsqu'ils s'expriment, aussi bien à l'écrit, à l'oral, que sous forme symbolique (gestes, schémas, etc.) l'enseignant attend d'eux qu'ils sachent quel est le sujet de leur expression, et qu'ils ne la fassent pas dévier.

À l'oral, les règles conversationnelles¹³⁵ appliquées en classe excluent la prise de parole hors-sujet ou la monopolisation du temps de parole sans faire avancer le débat. De telles stratégies oratoires, qui peuvent avoir leur pertinence en politique, disqualifient le discours pour l'activité scientifique considérée.

Dans le cas où une transmission efficace s'établit, la question ne se pose pas. En revanche, une situation d'échec communicationnel peut résulter d'un problème de forme, mais aussi de fond — ou d'absence de fond. Celui qui tient le discours doit être capable de préciser quelle connaissance spécifique il essaie de transmettre.

b/ La non vacuité porte non seulement sur le contenu du discours mais encore sur l'argumentation.

Les élèves utilisent parfois des expressions qui cachent une absence de compréhension d'un phénomène physique¹³⁶. Ils font semblant de dire

135. Par exemple, dans la formulation de Paul Grice : « *Maxime de la quantité* : fais en sorte que ta contribution soit informative autant que le requiert la situation d'échange; *maxime de la qualité* : ne dis pas ce que tu crois être faux et ne parle pas de ce dont tu n'as pas de preuves adéquates ; *maxime de la relation* : ne parle pas pour ne rien dire ; *maxime de la manière* : évite les expressions obscures, évite l'ambiguïté, sois bref (évite tout prolixité inutile), sois conséquent. » (H.P. Grice, "Logic and conversation", Williams James Lectures, Harvard University, 1967) ; voir également leur commentaire par Umberto Eco (In *Lector in Fabula* (1979), p. 82, éd. française Grasset & Fasquelle, Livre de Poche, 1985).

136. Bachelard parle à ce propos "d'obstacle verbal" et donne comme exemple « le pauvre mot éponge » dont le caractère spongieux « permet d'exprimer les phénomènes les plus variés. Ces phénomènes, on les exprime : on croit donc les expliquer. On les reconnaît : on croit donc les connaître. [...] La fonction de l'éponge est d'une évidence claire et distincte, à tel point qu'on ne sent pas le besoin de l'expliquer ». Gaston Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique* (1938), p. 89, éd. Vrin, 2004. A l'école on retrouve cet obstacle typiquement lorsque des élèves parlent d'effet ventouse pour expliquer les phénomènes observés lors

quelque chose mais il n'y a pas de contenu derrière la métaphore. Que cet emploi illégitime relève d'une pensée paresseuse de chercher plus loin, d'un choix conscient ou d'un comportement inconscient, le maître se doit de dévoiler la feinte. Une demande de définition suffit souvent pour que les élèves réalisent que le mot ou l'expression considéré est vide de sens.

3.3.4. Relativité

Formulation

Critère de relativité

La portée du discours est explicitement limitée.

Commentaires

Un élève qui ne serait pas conscient de la portée et donc des limites du discours qu'il formule risque d'éprouver des difficultés à le remettre en cause. Au pire, considérer un discours comme universel peut le conduire à remettre en cause la primauté de l'expérience¹³⁷. Dans la mesure où il est difficile de déterminer objectivement de quoi un élève est ou n'est pas conscient, le critère de scientificité porte sur la présence de marqueurs qui établissent que la validité du discours n'est pas considérée comme absolue.

Typiquement, un élève qui pèse ses hypothèses, emploie des expressions comme "des fois", "pour nous", "et si", "dans la classe", "avec notre matériel", etc. donne des indices d'une prise de conscience des limites du discours qu'il élabore. En l'absence d'expression spontanée, un questionnement spécifique de l'enseignant peut les faire apparaître (e.g. « est-ce que ce que l'on a trouvé est valable tout le temps/ partout/avec n'importe quel matériel ? »).

5.3.4. ARGUMENTATION ET THEORISATION

Dans les activités menées pour comprendre un phénomène physique, les élèves sont souvent conduits à argumenter leurs idées, expérimentales ou explicatives. La scientificité d'une argumentation s'apprécie globalement en tenant compte de la cohérence logique (3.4.1.) des arguments et exclut le recours à l'argument d'autorité (3.4.2.).

Les élèves sont également conduits à théoriser, c'est à dire à élaborer ou manipuler des outils leur permettant de naviguer entre général et particulier (qu'il s'agisse de la formulation modeste d'une loi ou de la construction plus ambitieuse d'un cadre théorique). La recherche

d'un travail sur l'air. L'expression se suffit à elle-même comme explication de phénomènes variés sans que le besoin d'aller au-delà n'apparaisse en absence de sollicitation de l'enseignant. Ils sont alors bien incapables d'en donner une définition autre que tautologique.

137. « Je ne suis pas d'accord avec le principe de primauté de l'expérience. En effet, en cours de sciences l'an dernier, notre professeur nous a dit qu'il n'était pas grave que les expériences ne vérifient pas forcément nos hypothèses (cas de la graine qui ne pousse pas alors qu'elle devrait). » Etudiante suisse en fin de Bachelor enseignement primaire à l'université de Genève, Octobre 2012. Une généralité abusive implicite ("les graines poussent") est probablement à l'origine de la remise en question de la primauté de l'expérience chez cette future enseignante.

d'univocité (3.4.3.1.), de robustesse (3.4.3.2.) et d'économie (3.4.3.3.) des outils théoriques déployés permet d'évaluer leur scientificité.

Notons toutefois que, à l'école primaire, la théorisation est le plus souvent réduite à l'établissement de lois. Les critères de scientificité que nous proposons dans cette section portent donc sur des lois plutôt que sur des théories *stricto sensu* (mais sont aisément généralisables à ce cas).

Méthodologie scientifique	Expérience/ Observation	Discours & Représentations	Argumentation & Théorisation
			Cohérence logique 3.4.1. Non scolasticité 3.4.2. <i>Scientificité d'une loi</i> Univocité 3.4.3.1. Robustesse 3.4.3.2. Economie 3.4.3.3.

3.4.1. Cohérence logique

Formulation

Critère de cohérence logique

Aucune incohérence logique n'est identifiable.

Par "incohérence logique", nous entendons ici une erreur patente de raisonnement, quelle que soit par ailleurs la validité du résultat.

Celles-ci peuvent relever de types très divers, comme l'appel à un argument sans rapport avec la conclusion (e.g. : *D'après le théorème de Thalès, on sait que l'eau bout à 100 °C*), une conclusion positive sur double négation (e.g. : *Untel n'a pas dit qu'il n'était pas d'accord, donc il l'est*), un syllogisme fautif¹³⁸ (*Tous les quadrupèdes sont mortels ; tous les chiens sont mortels ; donc tous les chiens sont des quadrupèdes*), un glissement sémantique sur les prémisses (*Tout ce qui est rare est cher ; or un cheval bon marché, c'est rare ; donc un cheval bon marché, c'est cher*), etc.

Commentaires

a/ Nous avons choisi de distinguer la cohérence logique, qui porte sur l'argumentation, de la cohérence interne du discours à laquelle nous avons rattaché les contradictions liées d'une part à la langue et d'autre part au sujet du discours.¹³⁹

b/ Pour un mathématicien ou un logicien, il est possible d'envisager toutes sortes de logiques alternatives, parfois très complexes. Pour le

138. Dans la tradition de la logique aristotélicienne, un syllogisme est classiquement constitué selon la séquence Majeure (proposition générale)/ mineure (proposition particulière)/ conclusion. Exemple : tous les hommes sont mortels (Majeure)/ or les philosophes sont des hommes (mineure)/ donc les philosophes sont mortels (conclusion). Un syllogisme construit sur une séquence mineure/mineure ne permet pas de conclure [Socrate est un homme mortel ; or Platon est un homme ; donc Platon est mortel].

139. cf. *supra* § 3.3.2.1, critère de non-contradiction interne et 3.3.1. cohérence lexicale.

Béotien, toutefois, et *a fortiori* à l'école primaire, il n'en existe qu'une, « classique », dont l'emploi est d'ailleurs loin d'être limité aux sciences.

Pour reprendre une belle expression de Bachelard, « *les qualités logiques sont des qualités de politesse de l'esprit. Et si vous avez affaire à quelqu'un qui prétendrait ne pas avoir la même logique que vous, il faut lui dire qu'il n'a pas de logique du tout, car la logique, c'est la logique de tout le monde !* »¹⁴⁰.

c/ Ce type de raisonnement logique “universel” étant en construction chez les jeunes élèves, le maître est le garant de la cohérence de l'argumentation. Il lui revient d'identifier et de rectifier les erreurs logiques que les enfants pourraient introduire dans leur argumentation. C'est typiquement le cas quand les élèves manipulent à mauvais escient les relations de cause/conséquence, confondent condition nécessaire et condition suffisante, construisent des syllogismes non concluants, proposent un raisonnement circulaire etc.

3.4.2. Argument d'autorité

Le refus de l'argument d'autorité est au fondement même de la méthode scientifique. Il la différencie des accès scolastique et mystique à la connaissance. C'est l'un des tout premiers enjeux de l'apprentissage de la science à l'école, et tout particulièrement de toute démarche d'investigation (*Comment savoir ? On essaie !*).

Formulation

Critère de non scolasticité

Il n'est jamais fait appel à l'argument d'autorité.

L'argument d'autorité consiste à justifier un propos par l'autorité de celui qui le tient (e.g. « *je sais forcément mieux que toi parce que je suis plus grand* »), ou d'une autorité dont il se réclame (e.g. les parents, le maître, un livre, ou même le sens commun).

Il n'est jamais suffisant dans le cadre d'une démarche scientifique, et presque¹⁴¹ toujours invalide.

Commentaires

a/ *Autorité vs. pédagogie frontale*

Le statut de l'argument d'autorité est particulièrement délicat à l'école où, de fait, l'autorité du maître est toujours présente, et le plus souvent incontestable. Nous avons discuté en 2.4.4. son statut dans le cadre d'une pédagogie frontale.

140. Gaston Bachelard, « De la Nature du rationalisme » in *L'Engagement rationaliste*, p. 72, éd. PUF, 1972.

141. Un scientifique professionnel peut parfois sembler se contenter d'une référence, i.e. d'un argument d'autorité, pour justifier rapidement une hypothèse. Mais il est alors implicite d'une part que la moindre contestation entraînera un examen détaillé des arguments contenus dans cette référence ; et d'autre part que la validité de l'hypothèse est alors subordonnée à celle de la référence.

En toute rigueur, si l'on applique le critère de non scolasticité à un cours magistral de physique, on est amené à conclure qu'il ne s'agit pas de science. Il est toutefois essentiel de distinguer la *pratique éducative* du maître qui, en tant que telle et quelqu'en soit le sujet, peut alors être considérée comme non scientifique¹⁴² ; et le *contenu* transmis qui, lui, peut le demeurer.

b/ *Autorité et discipline*

Le critère porte sur l'argumentation, non sur l'autorité en général. En particulier, le refus de l'argument d'autorité en cours de science ne signifie en rien que le maître renonce à son autorité sur la classe, en ce qui concerne sa gestion et la discipline en particulier.

De même, l'appel à l'autorité du maître pour faire respecter la règle du jeu qu'il a fixée pour une séquence, comme le respect de la logique commune ou de certains critères de scientificité, ne remet pas en cause sa scientificité. Il est toutefois important que les élèves soient conscients de cette distinction, ce qui peut en soi constituer un enjeu éducatif dans les petites classes.

c/ *Argument de bon sens*

Nous avons choisi de ne pas distinguer les arguments d'autorité et de bon sens. En toute rigueur, le second n'est pas tant un appel à l'autorité du sens commun qu'une revendication de l'inutilité de l'examen des arguments en présence, « *tout le monde sachant bien* » que, « *bien sûr* », la question ne se pose pas. Employé de bonne foi, il marque surtout un préjugé si bien ancré¹⁴³ que le locuteur renonce à lui appliquer la méthode scientifique, ce qui n'est bien sûr pas recevable en termes de scientificité. Mais il peut aussi constituer un artifice rhétorique, à la limite de la fraude scientifique.

The phrase "We (I) (You) simply must — designate something that need not be done. "That does without saying" is a red warning. "Of course" means you had best check it yourself. These small-change clichés and others like them, when read correctly, are reliable channel markers.

Robert A. Heinlein¹⁴⁴

d/ *Autorité lexicale*

Au lieu de se référer directement à l'autorité du maître, un élève peut lui emprunter (ou à un manuel, etc.), sans nécessairement les avoir compris, une expression ou un terme qui lui paraissent essentiellement scientifiques, et leur attribuer une valeur explicative intrinsèque. L'emploi,

142. Notons que, le plus souvent, elle ne le serait pas plus en démarche d'investigation : aucune pratique éducative n'a *a priori* vocation à être scientifique, sauf éventuellement dans des cadres très spécifiques, d'expériences didactiques contrôlées par exemple.

143. Le cas de l'évidence que, bien sûr, la Terre tourne autour du Soleil est exploré dans l'article « *Démarche d'investigation, pédagogie frontale et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique* », op. cit.

144. Robert A. Heinlein, « Excerpts from the Notebooks of Lazarus Long » in *Time Enough for Love*, éd. G.P. Putnam's Sons, New York, 1973, p. 269. (« La phrase "il faut vraiment que vous..." désigne quelque chose qui n'a pas besoin d'être fait. "Cela va sans dire" est une alerte rouge. "Bien sûr" signifie que vous feriez mieux de vérifier par vous-même. Lorsqu'on sait les lire, on peut se fier au balisage qu'offrent ces clichés assez stables. »)

à titre d'argument, d'un terme supposément magistral mais inapproprié est assimilable à celui d'un argument d'autorité, et donc non scientifique — y compris, voire *a fortiori*, s'il est qualifié de "terme scientifique".

e.g. un corps qui flotte grâce à « *la poussée d'Archimède* », de l'eau qui ne coule pas « à cause de la *pression* ».

Notons toutefois que, dans le cas où le terme s'avère approprié à la situation, il peut constituer une référence implicite à une théorie qui le définit, et à un argument qui en dérive ; il appartient alors au maître de déterminer s'il laisse à l'élève le même bénéfice du doute qu'à un scientifique chevronné dans les mêmes circonstances.

3.4.3. Scientificité d'une loi

3.4.3.1. Univocité

Formulation

Critère d'univocité

L'énoncé est univoque.

Un énoncé scientifique ne laisse planer aucun doute sur son interprétation.

Commentaires

a/ *Équivoque délibérée*

L'équivoque d'un énoncé peut être délibérée. Il s'agit alors d'une mauvaise pratique à la limite de la fraude au sens de Babbage (cf. critère de loyauté 3.1.1.1.).

b/ Généralement, l'utilisation du verbe *pouvoir* et du conditionnel sont à éviter dans l'expression d'une loi, de même que les dispositifs extensifs souples (comme les guillemets ou abréviation "etc.") qui permettent au littérateur d'ajuster la structure de la langue. Inversement, des dispositifs restrictifs (comme "aux environs de") peuvent s'avérer indispensables.

La proposition « *L'eau peut bouillir à 100°C* » est formellement exacte mais elle laisse ouverte la possibilité que l'eau puisse aussi *ne pas* bouillir à 100°C (ce qui n'est pas faux non plus). Elle n'est donc pas univoque. En revanche, « *L'eau bout aux environs de 100°C* » est recevable, sous réserve d'une précision sur l'écart admissible (qui la rend univoque).¹⁴⁵

3.4.3.2. Robustesse

La question de la robustesse ne se pose véritablement que pour des énoncés réputés valides, au moins dans les conditions nominales de leur expression. En effet, une *mauvaise expression* d'une loi valide équivaut de fait à l'expression d'une *autre loi*, fautive.

145. Voir aussi la discussion de la section 5.3.2. sur la fiabilité d'une expérience.

Formulation

Critère de robustesse

L'introduction dans l'énoncé d'une loi d'un paramètre présumé non pertinent ne modifie pas dramatiquement les comportements prédits.

Toute modification qualitative non prédite doit être considérée comme dramatique. Dans le cas d'une prédiction quantitative, celle-ci est normalement accompagnée d'une marge d'erreur qui détermine le caractère dramatique ou non de la modification.¹⁴⁶

Organigramme de décision de la robustesse d'une loi

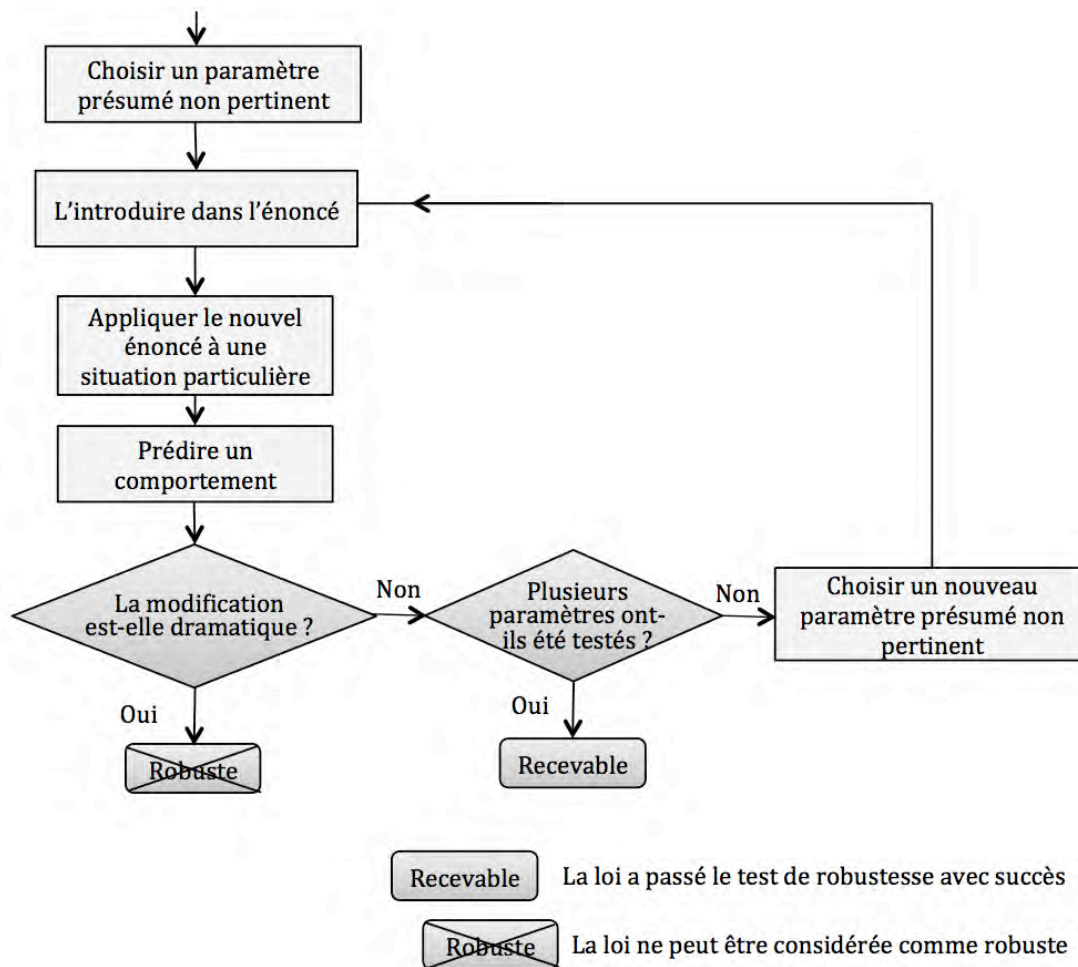


Figure 3.4.3.2. : Organigramme de décision de la robustesse d'une loi

Commentaires

a/ Le test de la robustesse d'une loi porte sur son *énoncé* plutôt que sur la loi proprement dite¹⁴⁷. Sa formulation est donc une étape essentielle.

146. Voir aussi la discussion de la section 5.3.2.2.2, consacrée à la robustesse d'une expérience.

147. Nous parlerons de "loi physique" pour un énoncé décrivant une classe de comportements donnés. Il peut y avoir plusieurs énoncés pour une même loi physique. (cf. §2.2.5.4.2.)

b/ Par construction, on ne saurait tester tous les paramètres présumés non pertinents, la plupart implicitement. La fiabilité d'une loi est donc toujours relative, et d'autant plus grande qu'elle a résisté à plusieurs tests de sa robustesse.

c/ En l'absence de tout fondement théorique d'une loi empirique, le test de sa robustesse est souvent le seul moyen disponible pour s'assurer que l'on n'a pas omis de paramètre pertinent.

Des élèves ont formulé la loi « *L'eau bout aux environs de 100°C* ». L'utilisation de l'expression « *aux environs de* » a été rendue nécessaire par des petites variations de la mesure de la température d'ébullition (typiquement de 2-3 °C). Le lieu de l'expérimentation, non précisé, est donc implicitement considéré comme non pertinent. Si la loi est robuste, le comportement de l'eau ne doit pas être dramatiquement modifié si l'on introduit une précision géographique : « *L'eau bout aux environs de 100°C à l'Alpe-d'Huez* ». Or un échange entre classes ou un séjour à la montagne permet aux élèves de constater que, toutes choses étant égales par ailleurs, l'eau y bout plutôt aux environs de 93°C. Le comportement de l'eau est dramatiquement modifié en altitude, dans la mesure où la différence de température d'ébullition dépasse les variations tolérées par les élèves dans leur expression des "environs" de 100°C.

Robustesse d'une théorie

Les théories que manipulent les élèves de primaire sont sommaires et se résument souvent à quelques principes et relations causales élémentaires entre paramètres et observations empiriques. Elles s'avèrent donc la plupart du temps extrêmement robustes.

Avec des élèves plus avancés, on peut rencontrer des lois dérivant explicitement d'une théorie, qui précise leur domaine d'application et justifie l'élimination de certains paramètres. Il reste utile de tester la robustesse de la loi, dans la mesure où sa démonstration théorique peut elle-même être fautive. Toutefois, si sa dérivation est correcte, la loi est en quelque sorte "protégée" par la théorie dont elle dérive et "hérite" de sa robustesse.

Le problème de la robustesse est alors reporté sur la théorie elle-même. C'est un problème épistémologique subtil et d'une réelle importance pour la science professionnelle, mais qui dépasse le cadre de cette étude. Nous nous contenterons ici de faire nôtre l'analyse de William Wimsatt¹⁴⁸ :

L'analyse de sa robustesse passe par : 1/ celle d'un faisceau de processus indépendants de mesure, d'identification ou de dérivation ; 2/ la recherche et l'analyse d'éléments apparaissant comme invariants dans les conclusions et les résultats de ces différents processus ; 3/ l'établissement du champ dans lequel ils restent invariants et des conditions sur lesquelles reposent leur invariance ; 4/ l'analyse et l'interprétation dans ce cadre de tout défaut d'invariance.

148. William C. Wimsatt dans son article « Robustness, Reliability, and Overdetermination » (1981) présente un panorama des différentes conceptions de ce qu'est la robustesse et en propose une analyse détaillée : « *The family of criteria and procedures that I seek to describe in their various uses might be called robustness analysis. They all involve the following procedures: 1. to analyze a a variety of independant derivation, identification, or measurements processes ; 2. to look for and analyze things that are invariant over or identical in the conclusion or results of these processes ; 3. to determine the scope of the processes across wich they are invariant and the conditions on which their invariance depends ; 4. to analyze and explain any relevant failures of invariance* ». In *Re-engineering Philosophy for Limited Beings*, éd. Harvard University Press, 2007, pp. 43-74.

Un test de robustesse simplifié d'une théorie peut consister à ajouter un élément supplémentaire *a priori* non pertinent à ceux déjà présents dans la théorie. Il s'agit alors, à partir de la théorie ainsi contrainte, de dériver de nouvelles lois, analogues aux précédentes, et de tester leur validité. Si la nouvelle loi s'avère valide, au prix d'ajustements mineurs, la théorie est présumée robuste.

Par exemple, l'altitude n'est pas un paramètre réputé pertinent de la théorie galiléenne de la chute des corps, dont on peut dériver une loi comme : *tous les corps subissent la même accélération verticale constante*¹⁴⁹. Tester cette loi à différentes altitudes amènerait à conclure qu'elle reste valide, mais avec une légère dépendance de l'accélération en fonction de l'altitude. La théorie semble robuste, même si elle ne peut pas plus expliquer cette dépendance que la valeur de la constante.

3.4.3.3. Economie

Formulation

Critère d'économie

Seuls des éléments significatifs ou potentiellement significatifs sont présents dans l'énoncé.

Un élément dont *on ne sait pas* si la modification est ou non susceptible de modifier une prédiction de la loi doit être considéré comme potentiellement significatif. En revanche, un élément dont on sait qu'il ne modifie en rien ses prédictions ne doit pas figurer dans l'énoncé d'une loi.

Commentaires

a/ Le critère porte moins sur les éléments mentionnés dans l'énoncé d'une loi que sur *ce qu'on en sait* (ou, dans un cadre spéculatif, sur ce qu'on en suppose). Leur caractère significatif ou non dépend en effet du cadre théorique dans lequel s'intègre la loi, et le cas échéant des hypothèses émises¹⁵⁰.

b/ Un corollaire est que le même énoncé pourra satisfaire ou non le critère d'économie selon le cadre théorique considéré et les résultats disponibles.

c/ En particulier, un énoncé peut perdre son caractère économique avec le temps et l'acquisition de nouvelles connaissances. En effet, tant qu'on n'a pas démontré le contraire, un élément ou un paramètre donnés doivent être considérés comme potentiellement significatifs, et ayant donc leur

149. Nous nous permettons ici un léger anachronisme dans la formulation, le concept d'accélération n'ayant été complètement élucidé que par Newton, dont la théorie générale de la gravitation englobera la théorie de la chute des corps et permettra à la fois d'en expliquer la robustesse et d'en dévoiler les limites.

150. D'après Carl Hempel « *On ne peut qualifier de significatifs des faits ou des découvertes empiriques que par rapport à une hypothèse donnée, et non par rapport à un problème* ». « Critères de confirmation et d'acceptabilité », in *Éléments d'épistémologie (Philosophy of Natural Science, 1966)*, p.18, éd. Armand Colin, 2006. On y trouvera également plusieurs exemples détaillés de la relation entre établissement d'une hypothèse et éléments considérés comme significatifs pour cette hypothèse (expérience de Semmelweis, du Puy-de-Dôme).

place dans l'énoncé ; mais ce n'est plus le cas dès lors que cette démonstration est faite. Un même énoncé incluant cet élément, parfaitement recevable jusque là, cesse alors de vérifier le critère d'économie, et ne peut plus être considéré comme scientifique¹⁵¹.

Organigramme de décision de l'économie d'une loi

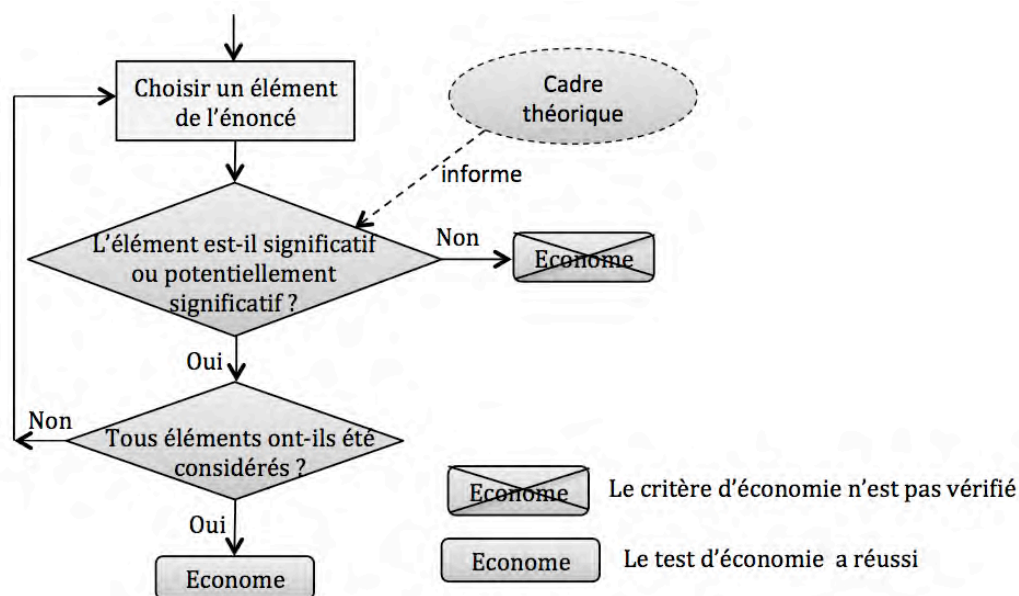


Figure 3.4.3.3. : Organigramme de décision de l'économie d'une loi

151. Plus précisément, un tel énoncé (re)produit après la démonstration ne peut être considéré comme scientifique. Du point de vue de l'histoire des idées, la scientificité du premier énoncé n'est pas remise en cause.

5.4. Capacité discriminante

Cette section a pour objet d'évaluer la capacité discriminante du jeu de critères constitué en 5.3.

Pour cela, on appliquera intégralement celui-ci à une série de pratiques dont la scientificité est *a priori* problématique, comme l'astrologie (cf. 5.2.1.4.), ou au contraire présentant des points communs avec la démarche d'investigation sans pour autant se réclamer de la science, comme une enquête policière.

Il ne s'agit pas ici de mener une étude systématique de la scientificité de ces exemples, dans toute leur complexité et leur diversité, mais d'illustrer l'application des critères dans des cas particuliers relevant de contextes très différents.

5.4.1. TOUTE INVESTIGATION EST-ELLE SCIENTIFIQUE ?

Pour beaucoup d'enseignants, la notion de science est associée au simple fait de poser des questions.¹⁵² Un jeu courant lors de formations à la démarche d'investigation consiste à confronter ce type de conception à des pratiques arbitraires impliquant l'investigation par hypothèse et vérification de questions légitimes mais rarement associées à la science ; il amène par exemple les participants à s'interroger sur le caractère scientifique ou non de l'activité de leur garagiste ou d'un détective.

Dans le même esprit, on passe ici au crible des critères de scientificité des pratiques archétypales associées à de telles investigations, menées par des spécialistes *a priori* incontestables. Dans la mesure du possible, on envisage pour chaque exemple une situation "de base", *a priori* très éloignée des préoccupations de la communauté scientifique, et une situation de haute technicité, faisant appel à des compétences relevant de la physique.

On considérera les pratiques archétypales suivantes :

Investigations "automobiles"

- Un artisan garagiste cherche l'origine d'une panne sur une voiture. Il émet différentes hypothèses qu'il teste successivement, en se basant aussi bien sur sa propre expérience que sur la documentation du constructeur et sur une approche empirique par essai-erreur.
- Un ingénieur hautement qualifié d'une écurie de Formule 1 de pointe cherche à optimiser l'aérodynamisme d'une voiture, en se basant sur des mesures en course, des essais en soufflerie et des modèles numériques sophistiqués.

Investigations "policières"

- Un inspecteur de police enquête sur un méfait. Il recueille des indices et des témoignages et analyse toutes sortes d'informations transmises par des

152. Ce résultat est détaillé dans le chapitre 6.1.

sources variées, dans le strict respect de la procédure légale et des droits des suspects.

- Un émule¹⁵³ de Sherlock Holmes cherche à résoudre une affaire criminelle d'apparence insoluble. Il s'appuie sur sa mémoire prodigieuse et utilise une approche qui se veut profondément rationnelle, même dans les déductions les plus acrobatiques :

« Je dis souvent que, lorsque vous avez exclu l'impossible, ce qui reste doit être la vérité, aussi improbable puisse-t-elle paraître ».¹⁵⁴

4.1.1. Investigations de type « garagiste »

	✗ Artisan garagiste	✗ Ingénieur F1
Intégrité	[par hypothèse]	[par hypothèse]
Transmission	✗ Pas de retour d'expérience vers la culture commune des garagistes	✗ Les résultats sont soigneusement cachés aux autres écuries.
Primauté de l'expérience	✓ Évaluation empirique de l'action du garagiste : la voiture "marche"	✓ Méthode similaire à celle d'un chercheur Scientifique en Aérodynamique Appliquée (SAA)
Recul	✓ Le garagiste fait la distinction entre la voiture idéale de la documentation du constructeur et celle sur laquelle il intervient effectivement.	✓ similaire SAA
Exploitation du spectre de généralité	✗ ✓ Selon la largeur du spectre de généralité acceptable (cf. <i>infra</i>)	✓ similaire SAA
Opportunité	✓ Le garagiste n'intervient que sur une demande explicite	✓ Les tests de l'ingénieur-mécanicien répondent à des questionnements explicites
Reproductibilité	✓ Les mêmes solutions techniques réparent toujours une même panne. ¹⁵⁵	✓ similaire SAA
Robustesse	✓ Les mêmes solutions techniques valent pour des voitures légèrement différentes.	✓ similaire SAA
Exhaustivité (documentation)	✗ Le principal élément de documentation est une facture ne détaillant que les pièces remplacées et le temps passé.	✓ similaire SAA
Economie (documentation)	✗ ✓ La documentation est minimaliste, donc en un sens économe	✓ L'économie de la documentation peut être recherchée à des fins d'efficacité dans la communication interne.

153. Considéré ici comme réel. La question de la fiction est envisagée en §2.2.1.3., 5.2.1.4.7. et en 7.2.1.

154. « *It is an old maxim of mine that, when you have excluded the impossible, whatever remains, however improbable, must be the truth.* ». Sherlock Holmes, in « The Adventure of the Beryl Coronet », Conan Doyle, 1892 ; accessible en ligne :

http://en.wikisource.org/wiki/The_Adventure_of_the_Beryl_Coronet (consulté août 2014)

155. La réparation d'une voiture n'est pas à proprement parler une expérience. Dans ce contexte, la notion de reproductibilité est plus liée à la généricité des réponses techniques aux pannes du système relativement simple que peut constituer une voiture qu'à la méthode mise en œuvre par le garagiste.

Cohérence lexicale	✓ Le vocabulaire technique de l'automobile est univoque	✓ <i>idem</i>
Cohérence symbolique	✓ Les symboles sont standardisés	✓ <i>idem</i>
Non contradiction interne	✓ Discours non contradictoire	✓ similaire SAA
Non contradiction externe	✓ Discours <i>a priori</i> conforme aux normes professionnelles	✓ similaire SAA
Non vacuité	✓ Le discours répond au problème posé.	✓ <i>idem</i>
Relativité	✓ L'enseigne du garage pose les limites de sa compétence. ¹⁵⁶	✓ similaire SAA
Cohérence logique	✓ Aucune incohérence	✓ <i>idem</i>
Non scolasticité	✗ Même arbitraires, les normes du constructeur ne sont pas remises en cause	✓ similaire SAA
Univocité d'une loi	✓ Les généralités invoquées sont univoques. ¹⁵⁷	✓ <i>idem</i>
Robustesse d'une loi	✓ Les généralités invoquées sont robustes. ¹⁵⁷	✓ <i>idem</i>
Économie d'une loi	✗ Les énoncés sont souvent redondants.	✓ similaire SAA

Tableau 4.1.1. : Confrontation des pratiques archétypales de type "garagiste" au jeu de CS

4.1.1.1. Spectre de généralité d'un garagiste

En tant que membre d'une culture savante

La communauté de la mécanique automobile constitue une "culture savante", au sens du § 2.2.2.5. Celle-ci produit des objets culturels de toute nature, communiqués aux praticiens au cours de leur formation initiale ou dans les documents fournis par les constructeurs et dont certains sont assimilables à des lois, souvent de généralité modérée (e.g. : *sur tel modèle, la durée de vie de telle courroie est de 3 ans*) et sans que leur énoncé ne s'accompagne de justifications théoriques.

L'artisan garagiste applique ces règles aux véhicules particuliers dont il a la charge (e.g. : il change préventivement la courroie le moment venu). En revanche, lorsqu'elles s'avèrent inopérantes, il n'a aucun moyen de retourner à un niveau de généralité supérieur ou de modifier les hypothèses sur lesquelles elles reposent. *A fortiori*, il ne lui appartient pas non plus de les amender.

Il ne procède donc pas à une navigation agile (i.e. dans les deux sens, par définition) entre général et particulier, mais à une simple "descente" du général au particulier. Son approche ne peut donc, de ce point de vue en tout cas, être considérée comme scientifique.

Il n'en va pas nécessairement de même de l'ingénieur "F1", qui peut être amené à dépasser le champ d'application normal des lois, voire des théories

156. Les limites du discours du garagiste sont souvent implicites mais de notoriété publique.

157. Il n'y a pas à proprement parler de lois de la mécanique automobile. On peut toutefois considérer que les règles générales énoncées par les constructeurs, etc., en tiennent lieu. Les énoncés généraux formulés par le garagiste lui-même sont discutés dans la section 5.4.1.1.1.

communément reconnues, et à les modifier en conséquence en fonction d'expériences particulières. Il navigue donc entre général et particulier au même titre qu'un chercheur scientifique confronté à un problème de même nature.

Du point de vue de l'investigation locale

Localement, au niveau de son atelier, le garagiste peut toutefois énoncer à son propre usage et à celui de ses employés des règles empiriques liées à son expérience de praticien, au contexte local (climat, etc.) et à l'équipement dont il dispose, etc. Lorsque ces règles s'avèrent inopérantes dans le cadre d'une investigation sur une panne particulière, il peut les amender en fonction de cette nouvelle observation.

Même si le niveau de généralité de telles règles locales est *a priori* assez limité et leur spectre de généralité étroit, on retrouve alors, en toute rigueur, une forme de navigation agile entre le (modestement) général et le particulier.

L'approche "culturelle" (*supra*) revient à disqualifier ce niveau d'agilité du fait que de telles règles locales n'habitent pas le "monde 3" de la culture savante automobile.¹⁵⁸ Pour autant, **ce niveau d'exigence épistémologique n'a pas cours à l'école primaire** : une interprétation aussi stricte de l'exigence d'agilité disqualifierait immédiatement la quasi-totalité des pratiques de la science scolaire.

De ce point de vue, il convient donc d'apprécier le spectre de généralité du garagiste au regard de celui que l'on peut attendre, *mutatis mutandis*, des élèves de l'école primaire, souvent bien plus limité encore. Il faut alors convenir que **la méthode empirique d'investigation d'une panne par un garagiste compétent l'amène à exploiter un spectre de généralité d'une largeur *a priori* supérieure à celle qu'on attend d'un élève d'école primaire.**

4.1.1.2. Scientificité d'une investigation de type « garagiste »

Ce n'est donc pas l'exploitation du spectre de généralité qui disqualifie ici la scientificité des pratiques du garagiste, même si la plupart des défauts de scientificité de ses investigations (scolasticité, défaut d'économie des lois) sont d'une manière ou d'une autre liés à l'absence de recours à des considérations très générales. De ce point de vue, il existe *a priori* un continuum de pratiques réelles, entre les archétypes-limite de l'artisan résolument local et l'ingénieur de pointe, dont l'arsenal théorique est le même que celui du physicien.

Une différence plus profonde, commune aux deux archétypes, relève de la **contrainte de transmission des résultats scientifiques**, absente dans un contexte de type "garagiste", dans lequel le praticien n'a de comptes à rendre qu'à son donneur d'ordres (client individuel pour l'artisan, propriétaire de l'écurie pour l'ingénieur F1), et pas à sa culture savante. Dans certains cas, comme celui de la F1, on peut même constater, tout au contraire, l'existence de

158. En revanche, le fait que ce "monde 3 automobile" ne coïncide pas avec le "monde 3 scientifique" ne suffit pas à la disqualifier *a priori*.

contraintes de secret. Une investigation de type “garagiste” ne saurait donc, pour cette raison, être considérée comme scientifique.

Le même argument peut se retrouver dans des contextes très différents, de la recherche soumise au secret industriel et commercial aux investigations dont la publication des résultats serait susceptibles de poser des problèmes politiques, voire géopolitiques (e.g.: le *Manhattan project*), légaux, déontologiques, etc.

Il est important de noter que le critère de transmission est strictement indépendant du *niveau* technique des pratiques considérées : de même que Robert Oppenheimer reste un excellent physicien, mais pas nécessairement un scientifique (de ce point de vue du moins) lorsqu’il travaille au développement de la première arme nucléaire, l’ingénieur mécanicien peut avoir des compétences et des outils conceptuels très similaires à ceux de ses homologues de la recherche académique.¹⁵⁹

4.1.2. Investigations de type « policier »

Confrontation du jeu de critères aux différents archétypes :

	✗ Inspecteur de police	✗ Sherlock Holmes
Intégrité	[par hypothèse]	[par hypothèse]
Transmission	✗ Communication au sein de l’équipe et avec la Justice, mais une partie des informations peut ne pas être communiquée par respect de la procédure.	✗ Sherlock Holmes communique ce qu’il a envie, mais ne se reconnaît pas d’obligation en la matière.
Primauté de l’expérience	✗ Primauté de la procédure	✗ Primauté de la logique
Recul	✓ L’enquêteur fait très nettement la différence entre les scénarios qu’il élabore et la réalité des faits établis.	✓ <i>idem</i>
Exploitation du spectre de généralité	✗ Chaque enquête est singulière. Ses résultats n’affectent pas les lois générales mises en œuvre. ¹⁶⁰	✗ <i>idem</i>
Opportunité	✓ L’inspecteur intervient sur requête de sa hiérarchie	✓ Le détective intervient sur requête de son client
Reproductibilité	✗ Chaque enquête est singulière.	✗ <i>idem</i>
Robustesse	✗ Chaque enquête est singulière.	✗ <i>idem</i>
Exhaustivité (documentation)	✗ La procédure interdit de documenter des éléments irrégulièrement établis.	✗ Sherlock Holmes se fie avant tout à sa mémoire.

159. Il participe alors indépendamment des deux cultures savantes, “automobile” et “scientifique”. Il convient d’ailleurs de noter que ces deux cultures présentent une intersection significative, et le choix de limiter la présente discussion à des archétypes fortement contraints par la dimension industrielle et commerciale de la première est très réducteur.

160. Comme dans le cas du garagiste, on pourrait distinguer pour un inspecteur donné des règles “locales” fondées sur son expérience personnelle et susceptibles d’évoluer avec celle-ci.

Economie (documentation)	✗ La procédure impose souvent des redondances.	✓ Sherlock Holmes est très économe de son travail
Cohérence lexicale	✓ Le vocabulaire technique et légal est univoque.	✓ <i>idem</i>
Cohérence symbolique	✓ Les symboles sont standardisés.	✓ <i>idem</i>
Non contradiction interne	✓ Discours non contradictoire	✓ <i>idem</i>
Non contradiction externe	✓ Le discours prend en compte la jurisprudence administrative ainsi que les expertises reconnues. ¹⁶¹	✗ Sherlock Holmes ne recule pas devant le paradoxe et n'hésite pas à avoir raison contre tous les autres.
Non vacuité	✓ Le discours répond au problème posé.	✓ <i>idem</i>
Relativité	✓ Le discours ne porte que sur l'enquête en cours.	✓ <i>idem</i>
Cohérence logique	✓ Aucune incohérence	✓ <i>idem</i>
Non scolasticité	✗ Même arbitraires, les contraintes procédurales ne sont pas remises en cause	✓ Sherlock Holmes ne se contente jamais d'un argument d'autorité et lui préfère toujours une démonstration logique
Univocité d'une loi ¹⁶² Robustesse d'une loi Économie d'une loi	[non pertinent] Chaque enquête est singulière, pas de formulation de généralités.	[non pertinent] <i>idem</i>

Tableau 4.1.2. : Vérification des CS par des pratiques archétypales de type "policier"

4.1.2.1. Primauté de la procédure vs. primauté de l'expérience

De même, la question de la transmission des résultats révèle un déficit de scientificité. Dans le cas de l'inspecteur de police, celui-ci dérive toutefois plus de la primauté de la procédure que de considérations de secret.

La pratique d'un enquêteur de la police est en effet fortement contrainte par la procédure. Il sait que des indices, voire des preuves, recueillis de façon irrégulière pourront être contestés par l'avocat du suspect et exclus du dossier judiciaire. La seule démonstration factuelle de sa culpabilité ne suffit donc pas à condamner ce dernier, la procédure primant sur les résultats "expérimentaux" du policier. L'expérience n'apparaît donc que seconde.

On parle parfois de *police scientifique*. L'expression désigne l'utilisation d'une ingénierie de haute technicité (e.g. signature ADN, techniques de datation). La situation est similaire à celle de l'ingénieur "F1" précédemment évoqué : en tant que policier, soumis aux contraintes de sa profession (primauté de la procédure, etc.) la pratique d'un ingénieur de la police, même de très haut niveau technique, ne peut être considérée comme scientifique, même si dans un autre contexte les mêmes compétences et les mêmes techniques seraient susceptibles de l'intégrer à la communauté scientifique.

Par surcroît, la loi peut interdire par principe certaines généralisations (et donc toute possibilité de navigation entre général et particulier). Ainsi, un inspecteur de police qui croirait avoir remarqué que tel type de délit est

161. Des témoignages contradictoires ne relèvent pas du "corpus accepté". Pour autant, l'inspecteur les prend en compte tant qu'ils ne sont pas invalidés.

162. "Loi" s'entend ici au sens d'un énoncé général et non au sens légal plus courant dans les enquêtes policières.

généralement le fait de malfaiteurs de telle origine ou de telle race ne serait pas pour autant fondé à concentrer ses contrôles sur la communauté correspondante, au risque d'un "profilage" discriminatoire.

Des contraintes similaires, affectant la primauté de l'expérience, peuvent se retrouver dans bien d'autres domaines.

Ainsi, pour le médecin, la première contrainte est de ne pas nuire à son patient,¹⁶³ même au prix de la scientificité de son investigation.

4.1.2.2. Scientificité d'une investigation de type « policier »

L'autre source majeure de déficits de scientificité des investigations de type "policier" est l'aspect irréductiblement singulier de chaque enquête.

De ce point de vue, la question de l'exploitation du spectre de généralité se pose de façon similaire à celle déjà envisagée à propos de l'artisan garagiste (*supra*, § 4.1.1.1.). Sa connaissance du contexte local peut amener un inspecteur à formuler à l'usage de ses collègues immédiats des règles locales de basse généralité (e.g. : *Dans tel quartier difficile, les crimes sont directement ou indirectement liés au trafic de drogue*), susceptibles d'ajustement mais pas d'intégration dans la "culture savante" policière ; d'autre part, il peut faire appel à des adages plus généraux (e.g. : *L'assassin retourne toujours sur les lieux de son crime*), mais sans "retour" du particulier vers le général.

C'est également cette singularité de chaque investigation qui rend largement inopérantes les notions de reproductibilité et de robustesse. Il s'agit d'une difficulté classique dès lors que l'on enquête sur des comportements humains. La plupart des sciences humaines y sont confrontées, dans une plus ou moins large mesure. Des critères de scientificité développés pour la physique sont donc *a priori* moins adaptés à l'évaluation d'une enquête policière que des critères adaptés, par exemple, à la psychologie clinique,¹⁶⁴ également confrontée à des comportements irréductiblement individuels.

Au final, une investigation de type policier apparaît donc généralement peu compatible avec les éléments de scientificité considérés. Si, pour la plupart des critères, on peut imaginer un continuum de pratiques policières susceptibles de les vérifier plus ou moins facilement, le caractère second de l'expérience, derrière la procédure (ou la logique dans le cas de Sherlock Holmes) suffit à disqualifier la scientificité de toute investigation policière.

Remarque : Ce n'est pas le sujet de l'enquête qui détermine sa nature scientifique ou non. Ainsi lorsque le prix Nobel de physique Luis Alvarez,¹⁶⁵ avec sa méthode habituelle et sans contrainte de type policier, se lance dans une investigation sur l'assassinat de J.F. Kennedy, son investigation est-elle un modèle de scientificité.

163. « *Primum non nocere* » (« Avant tout, ne pas nuire ») est un précepte médical de base, souvent attribué à Hippocrate (ca. 410 a.e.c.).

164. La discussion de la scientificité de la psychologie, et d'éventuels critères de scientificité adaptés, déborde largement du cadre de ce travail.

165. L.W. Alvarez, « A Physicist Examines the Kennedy Assassination Film », *American Journal of Physics*, 1974 ; in *Discovering Alvarez*, dir. W.P. Trower, Univ. Chicago Press, 1987, pp. 210-224.

5.4.2. PEUT-ON RECUSER UNE REVENDICATION DE SCIENTIFICITE ?

Les pratiques dont les revendications de scientificité font polémique fournissent un test particulièrement intéressant des critères de scientificité.

C'est typiquement le cas des pseudo-sciences (*supra*, § 2.1.4.5. de ce chapitre). Un exemple classique en est l'astrologie, pratique familière au grand public et, partant, aux enseignants, mais dont la scientificité est récusée par de nombreux scientifiques¹⁶⁶. D'autres pratiques polémiques émergent au sein même de la communauté scientifique et suscitent de nombreuses polémiques avant d'être elles aussi récusées et remises au rang des "sciences pathologiques". Les rayons N serviront de cas d'école. Enfin, on considèrera une discipline imaginaire, l'ombrellologie, pour éprouver les critères de scientificité.

4.2.1. Astrologie

On définit dans un premier temps une expérience astrologique comme l'énoncé d'une prédiction particulière basée sur le calcul d'un "thème astral"¹⁶⁷ et sa confrontation avec les événements qui se produisent effectivement. Sa reproductibilité éventuelle s'évalue par le taux de succès de ces prédictions.

Les pratiques des astrologues sont très diverses. Des scientifiques aussi éminents que Tycho Brahe et Kepler ont revendiqué le titre d'Astrologues ; des escrocs notoires ont été dénoncés. Les astrologues considérés ici sont présumés aussi compétents et honnêtes que possible, sans préjuger de l'efficacité réelle de leurs pratiques. On envisagera trois pratiques archétypales, visant à couvrir autant que possible le champ des pratiques existantes, étant entendu que celles-ci s'inscrivent dans un continuum entre ces extrêmes.

— Le rédacteur de la rubrique d'astrologie à succès d'un magazine à grande diffusion rédige des horoscopes hebdomadaires par décans (soit 36 horoscopes différents) censés s'appliquer personnellement à chacun de ses millions de lecteurs. Il ne revendique pas de méthodologie particulière et ne calcule aucun thème astral.

— Un astrologue consultant élabore et interprète pour un client régulier un horoscope personnalisé et précis. Il revendique l'emploi d'une méthode rigoureuse et de calculs difficiles pour réaliser un thème astral. Il s'appuie par ailleurs sur sa connaissance de son client. Il tient le précédent pour un charlatan.

166. Ainsi, en 1975, pas moins de 186 scientifiques dont 18 prix Nobel ont signé un manifeste contre l'astrologie dans lequel ils déclaraient « *Il devrait être apparent que les individus qui persistent à avoir foi dans l'astrologie le font en dépit du fait que leurs croyances n'ont aucune base scientifique vérifiée et qu'en fait il y a de très fortes indications du contraire* ». "Objections to astrology – A statement by 186 Leading Scientists", *The Humanist*, sept./oct. 1975. Accessible en ligne :

www.psychicinvestigator.com/demo/AstroSkc2.htm (consulté janvier 2014).

A ce propos voir également la discussion du 5.2.1.4.5.

167. Littré définit le thème astral comme une « *figure que tracent les astrologues, lorsqu'ils veulent tirer l'horoscope de quelqu'un, en marquant le lieu où sont à ce moment les étoiles et les planètes*. »

— J. Kepler, éminent astronome et mathématicien mais aussi astrologue professionnel — et convaincu¹⁶⁸ — élabore un horoscope personnalisé et aussi précis que possible. Il met en œuvre les outils mathématiques les plus sophistiqués de son temps, qu’il a pour une part développés lui-même. Il considère la quasi-totalité des autres astrologues comme des amateurs douteux et incapables de faire des calculs significatifs,¹⁶⁹ mais enjoint « *théologiens, médecins et philosophes [à] ne pas jeter le bébé avec l’eau du bain* »¹⁷⁰.

	✗ Rédacteur de rubrique astrologique	✗ Astrologue consultant	✗✓ Kepler
Intégrité	✗ Ne réalise pas de thème astral (ou équivalent) ¹⁷¹	[par hypothèse]	[par hypothèse]
Transmission	✗ L’astrologue ne fournit ni ses calculs ni les résultats de la confrontation de la prédiction avec les événements	✗ L’astrologue ne rend des comptes qu’à son client et peut-être soumis à une obligation de confidentialité	✗ <i>idem</i>
Primauté de l’expérience	✗ Pas de confrontation des événements avec les prédictions	✓ Admission des erreurs commises dans les prédictions	✓ Admission et prise en compte des erreurs commises dans les prédictions
Recul	✓ L’astrologue fait la différence entre les horoscopes qu’il élabore et la réalité des faits établis.	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Exploitation du spectre de généralité	✗ Pas de remontée du particulier vers le général	✗ Pas de remontée du particulier vers le général. La méthode suivie n’est pas remise en cause.	✓ Les prédictions réalisées sont confrontées à la réalité et, dans toute la mesure du possible, la théorie amendée en conséquence.
Opportunité	✓ Le rédacteur de la rubrique intervient sur commande	✓ L’astrologue intervient sur requête de son client.	✓ <i>idem</i>
Reproductibilité	✗ Pas de confrontation des événements avec les prédictions	✗✓ Selon les critères d’appréciation du succès d’une prédiction (cf. <i>infra</i>)	✓ Idéal recherché, mais technique encore rudimentaire (cf. <i>infra</i>)
Robustesse	✗ Pas de confrontation des événements avec les	✗✓ Selon les critères d’appréciation du succès	✓ Idéal recherché, mais technique encore rudimentaire (cf. <i>infra</i>)

168. « De notre propre expérience, quelques prédictions notables d’événements futurs (d’une nature générale) par la prédictions des mouvements célestes sont bien fondées. Lorsqu’on investit dans l’astrologie la même industrie qu’un botaniste en consacre à la médecine herbale en s’assurant de l’effet des herbes sur sa propre personne, chaque jour apporte une corroboration et l’expérience ajoute toujours plus à notre connaissance. La pondération diligente des exemples astrologiques tels que ceux mentionnés plus haut amène à trouver de plus en plus leurs bases dans la nature ou dans la philosophie. » J. Kepler, *Tertius Interveniens* 9-1 (1610).

Retraduit à partir de « Kepler’s Astrology. Excerpts selected by K.G. Negus ». Accessible en ligne : <http://cura.free.fr/docum/15kep-en.html> (consulté août 2014)

169. « Quand un esprit formé à la déduction mathématique est confronté aux bases déficientes de l’astrologie, il résiste longtemps, longtemps, comme une mule têtue, puis, contraint par les coups et les jurons, il finit par mettre le pied dans cette flaque boueuse. » ; J. Kepler, Dédicace du *De Stella Nova* à Rodolphe II, 1605.

170. J. Kepler, Adresse à Philippe Feselius, *Tertius Interveniens*, op. cit.

171. Il s’agit ici d’une évaluation “externe” de l’expérience de prédiction. Le point de vue du rédacteur, plus pertinent en termes d’intégrité personnelle, sera envisagé dans un second temps (§ 5.4.2.1.3.).

	prédictions	d'une prédiction (cf. <i>infra</i>)	
Exhaustivité (documentation)	✗ Pas de confrontation des événements avec les prédictions	✓ L'astrologue fournit à son client le thème et son interprétation	✓ <i>idem</i>
Economie (documentation)	✗ Pas de confrontation des événements avec les prédictions.	✗ La satisfaction du client prime sur l'économie dans la documentation du thème astral.	✗ <i>idem</i>
Cohérence lexicale	✗ Les énoncés sont délibérément équivoques ¹⁷² .	✓ Les énoncés sont aussi univoques que possible	✓ <i>idem</i>
Cohérence symbolique	✓ Les symboles sont standardisés.	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Non contradiction interne	✓ Discours <i>a priori</i> non contradictoire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Non contradiction externe	[non pertinent] Absence de corpus de référence.	✓ Mise en œuvre scrupuleuse d'une technique existante.	✓ Les éventuelles contradictions sont justifiées par la technicité insuffisante du corpus de référence.
Non vacuité	✓ Le discours est prédictif.	✓ Le discours répond aux interrogations du client.	✓ <i>idem</i>
Relativité	✗ Aucune limite explicite n'est posée.	✗✓ Limites posées <i>a posteriori</i> en cas de prédiction non réalisée.	✓ Discours de portée limitée.
Cohérence logique	✓ Aucune incohérence <i>a priori</i> .	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Non scolasticité	✗ Discours de pure autorité.	✗ Discours de référence de pure autorité.	✓ Appel à une théorie sophistiquée élaborée par Kepler lui-même ¹⁷³
Univocité Robustesse Économie (d'une loi)	[non pertinent] Absence de règles et de méthode.	✗✓ Revendiquées mais contestées ¹⁷⁴	✓ Contraintes similaires à celles appliquées par le Kepler mathématicien et physicien

Tableau 4.2.1. : Vérification des CS par des pratiques archétypales de type "astrologie"

4.2.1.1. Reproductibilité et robustesse

L'objet de cette section n'est pas de discuter la validité, ou non, des prédictions astrologiques.

Au XVII^e, une science en construction

Le calcul d'un thème astral passant par celui du mouvement des planètes, l'astrologie présente donc au tournant du XVII^e siècle exactement les mêmes

172. E.g. « Poissons du 19/02 au 01/03 : une fine acuité vous aide à démêler les situations embrouillées. Vous percevez d'instinct le ressenti de l'autre. Faites-vous confiance. Du 01 au 10/03 : vous franchissez les obstacles avec diplomatie et tact. Profitez-en pour construire quelque chose. Du 10 au 21/03 : Réfléchissez avant d'investir dans un projet qui vous engage. ». Télé 7 Jours du 1^{er} au 7 février 2014, p. 124.

173. Kepler ne revendique pas sa propre autorité ; la validité des outils mathématiques qu'il développe est sujette aux mêmes contraintes de scientificité et de contrôle externe que ceux qu'il développe pour son activité astrolomique.

174. On ne présume pas ici de la validité ou non des différentes règles astrologiques.

défis mathématiques que l'astronomie naissante.¹⁷⁵ Kepler est conscient des limites de ses calculs mais, explique Gérard Simon, « *entend rénover tous les vieux savoirs, et ne distingue pas ceux qui pour nous sont des sciences de ceux que nous tenons pour des superstitions, ou à tout le moins pour extrascientifiques.* »¹⁷⁶ Dans l'intervalle, les simplifications excessives auxquelles il est contraint mettent inévitablement en cause la reproductibilité et la robustesse de ses expériences.

Cette situation est toutefois classique dans le cas de sciences en construction. De ce point de vue, à l'aube du XVII^e siècle *le degré de scientificité de l'astrologie keplérienne est tout à fait comparable à celui de son astronomie* (qui ne prend pas en compte un élément aussi important que la gravitation, encore inconnue, et reste justiciable des mêmes objections techniques).

Une telle analyse revient à considérer que dans la mesure où le praticien d'une discipline nouvelle, ou en cours de mutation, est conscient des contraintes de reproductibilité et de robustesse, les envisage et met en œuvre tout ce qui est en son pouvoir pour les assurer, sa méthode n'est pas en cause et son échec peut être considéré comme provisoire, dans l'attente du développement de techniques plus matures.

Cette forme de "bénéfice du doute" ne vaut toutefois plus après quatre siècles de développement. En l'occurrence, ce délai a permis à l'astronomie de se constituer en science hautement mature sans que les développements de l'astrologie apparaissent en rien comparables, et il est aujourd'hui devenu légitime de réfuter la scientificité de l'astrologie au nom du défaut de reproductibilité et de robustesse de ses expériences.

Le point de vue du client

Dans le cas de l'astrologue consultant, la reproductibilité et la robustesse d'une expérience peuvent être considérées soit d'un point de vue externe et systématique, celui de l'épistémologue, soit d'un point de vue "interne" à l'investigation, celui du client. Même si la première approche suscite encore des polémiques, la communauté scientifique tend à considérer massivement que les prédictions astrologiques sont inopérantes et *a fortiori* ni reproductibles ni robustes.

Ce niveau d'exigence ne semble pas être celui des nombreux clients habituels de l'astrologie. Une étude sociologique de leurs motivations dépasserait de très loin le cadre de ce travail ; toutefois on peut sans doute considérer l'existence même de clients réguliers de certains astrologues comme un bon indicateur de leur satisfaction et donc de leur confiance en ces prédictions, y compris en termes de reproductibilité, ou de la perception qu'ils peuvent en avoir.

175. Si le mouvement des planètes est désormais bien connu, un astronome actuel pourrait moderniser l'argument en relevant qu'il s'agit d'un problème à N corps, dont on sait qu'il n'admet pas de solution générale pour $N \geq 3$.

176. « On constate d'abord que Kepler ne manque nullement d'esprit critique. Il entend réformer l'astrologie selon les mêmes principes qu'il suit en astronomie : au lieu de décrire les phénomènes, il veut remonter à leurs causes. Il ne se contente donc pas du code symbolique suivi avec plus ou moins de variantes depuis l'Antiquité ; il le réfute au contraire avec beaucoup de pertinence. (...) Ainsi, il entend rénover tous les vieux savoirs, et ne distingue pas ceux qui pour nous sont des sciences de ceux que nous tenons pour des superstitions, ou à tout le moins pour extrascientifiques. » G. Simon, *Sciences et savoirs aux XVI^e et XVII^e siècles*, Presses Universitaires du Septentrion, 1996, p. 96.

4.2.1.2. Scientificité des pratiques astrologiques

Scientificité d'une astrologie de pointe : le cas de Kepler

Les pratiques astrologiques de Johannes Kepler n'échouent à satisfaire que deux critères de scientificité d'ailleurs corrélés, ceux de *transmission* et d'*économie de la documentation*. Encore cet échec est-il discutable : Kepler est l'auteur de manuels d'astrologie, comme le *De Fundamentis Astrologiae Certioribus* (1601), dans lequel il détaille nombre de prévisions, météorologiques en particulier, pour l'année suivante (1602) ; et ses écrits astrologiques, s'ils ne correspondent plus aux canons modernes de l'écriture scientifique, sont équivalents, en termes de documentation, à ses écrits astronomiques, les meilleurs de son temps.

En toute rigueur, **le jeu de critères précédemment établi échoue donc à discriminer les pratiques du Kepler astronome de celles du Kepler astrologue.**

Un critère supplémentaire de *fécondité* y parviendrait sans doute, du moins avec quelques siècles de recul.¹⁷⁷ Revendiqué par certains épistémologues, il n'a toutefois pas été retenu ici, dans la mesure où il ne s'applique pas à l'école primaire (cf. § 5.2.2.2.6.).

Plus généralement, on peut considérer que ce jeu de critères ne permet pas de mettre en cause la scientificité de pratiques "atypiques"¹⁷⁸ menées par des physiciens par ailleurs reconnus, présumés fins connaisseurs des normes scientifiques de leur temps.¹⁷⁹

Scientificité d'une astrologie de ville

Les pratiques archétypales de l'astronome consultant présentent également un déficit de *transmission* et d'*économie de la documentation*. Ces éléments apparaissent toutefois moins liés à la nature de sa pratique qu'à son contexte, de ville plutôt que de laboratoire, qui l'amène à privilégier la communication avec son client et justifie, le cas échéant, une forme de secret. De ce point de vue, l'astrologue de ville n'est pas différent du garagiste ou de l'ingénieur "F1".

Outre les difficultés liées à la *reproductibilité* et à la *robustesse* de ses expériences, déjà évoquées, apparaît également un problème d'*exploitation du spectre de généralité*, l'astrologue consultant se contentant d'appliquer au cas particulier de son client des "lois" et des méthodes plus ou moins générales d'établissement et d'interprétation des thèmes astraux qu'il trace, sans "remonter" du particulier vers le général, tout en étant susceptible de formuler des règles d'application locale. Là encore, on se retrouve dans une situation

177. La fécondité de l'astronomie n'étant pas beaucoup plus évidente au tournant du XVII^e siècle.

178. Soulignons une fois de plus que la scientificité d'une pratique ne présume aucunement de la validité de ses résultats.

179. Un exemple récent est celui des travaux d'Yves Rocard dans le domaine hautement controversé de la sourcellerie : Y. Rocard, *La Science et les sourciers. Baguettes, pendules, biomagnétisme*, Dunod, Paris, 1989. Ce travail semble l'avoir en partie discrédité dans la communauté scientifique, et a provoqué des polémiques parfois violentes (e.g. « *Le triptyque-socle des travaux du Pr. Yves Rocard était composé de naïveté, mauvaise foi et force de la croyance.* » H. Broch, 1991 ; accessible en ligne : http://webs.unice.fr/site/broch/articles/HB_Rocard.html — consulté août 2014)

déjà analysée dans le cas d'une investigation de type « garagiste » : si une telle pratique ne saurait satisfaire aux exigences d'agilité de la science professionnelle, il semble difficile de l'exclure *a priori* au regard de la largeur du spectre de généralité exigible de la science scolaire.

En revanche, la *scolasticité* des discours de référence revendiqués par la plupart des astrologues suffit à disqualifier sans appel leurs éventuelles revendications de scientificité.

Remarque : Le cas de l'astrologie keplerienne montre que la même revendication provenant d'un astrologue qui serait par ailleurs un astronome de haut niveau serait en revanche difficile à mettre en cause. Le cas intermédiaire d'astrologues sans grandes compétences astronomiques revendiquant néanmoins des fondements scientifiques explicites à leur discours ne peut pas non plus être disqualifié *a priori* et ne peut être dûment traité qu'en identifiant, au cas par cas, les faiblesses techniques de ces références.

4.2.1.3. L'astrologie comme genre littéraire

L'analyse précédente considère les pratiques du rédacteur de rubrique astrologique du point de vue ses méthodes de prédiction. Ce point de vue est celui des critiques scientisites de l'astrologie, mais aussi éventuellement celui de certains des *lecteurs* prenant ces prédictions au pied de la lettre.

En revanche ce n'est pas nécessairement celui du rédacteur lui-même. Ce dernier est tout à fait fondé à se considérer avant tout comme un journaliste, ou même un écrivain de fiction d'un genre un peu particulier. Rien n'indique qu'il croie lui-même à ses prédictions et il n'est pas plus comptable de leur validité factuelle qu'un auteur d'anticipation de ses futurs imaginaires.

Si le premier point de vue a pu conduire à la mise en cause de son intégrité au sens scientifique du terme, il convient de réexaminer cette conclusion au regard de son propre point de vue et de ses obligations professionnelles.

Du point de vue du rédacteur de rubrique, l'expérience pertinente, au sens large, n'est pas de réaliser des prédictions mais bien la rédaction et la publication du texte de sa rubrique. Elle ne constitue pas une « expérience physique » au sens restreint de la définition 2.6.1.1. La question de sa scientificité n'a donc pas lieu d'être.

La notion d'intégrité garde en revanche tout son sens dans ce contexte professionnel. De son propre point de vue et du point de vue de son rédacteur en chef, le rédacteur de rubrique astrologie qui respecte la lettre ses obligations professionnelles en rendant toujours dans les délais une copie de qualité, etc., apparaît parfaitement intègre — et, dans le cas de l'archétype aux millions de lecteur fidèles, respectable en tant que professionnel de l'écriture hautement qualifié.

4.2.2. Rayons N et ombrellologie

La science pathologique, au sens de Langmuir,¹⁸⁰ constitue également un défi pour toute approche en termes de critères de scientificité, dans la mesure où les pratiques en cause sont celles de scientifiques reconnus. On considère ici le cas d'école bien documenté des rayons N que René Blondlot crut découvrir en 1904. Les expériences considérées sont celles dont il a dûment publié les résultats dans les *Compte-rendus de l'Académie des sciences* (CRAS)¹⁸¹.

Un autre cas d'école intéressant est celui de « l'ombrellologie », discipline imaginaire inventée par l'épistémologue John Sommerville pour discuter la scientificité d'une démarche strictement empirique, en l'occurrence entièrement consacrée à l'étude de la population de parapluies et de leur répartition statistique (cf. Annexe 5.A.). L'expérience de base est ici la prédiction systématique du nombre de parapluies à l'intérieur de chaque maisonnée d'une rue donnée et sa vérification empirique immédiate¹⁸².

	✓ Rayons N	✗✓ Ombrellologie
Intégrité	✓ L'intégrité professionnelle de R. Blondlot n'a jamais été remise en cause.	[par hypothèse]
Transmission	✓ Résultats dûment publiés	✓ Rédaction d'ouvrages rassemblant les résultats.
Primauté de l'expérience	✓ Revendiquée	✓ <i>idem</i>
Recul	✓ Distinction claire entre le monde physique et ses représentations	✓ <i>idem</i>
Exploitation du spectre de généralité	✓ Blondlot cherche à développer une théorie opératoire des rayons N.	✗✓ Selon la largeur du spectre de généralité acceptable (cf. <i>infra</i>)
Opportunité	✓ Les expériences réalisées ont un objectif.	✓ <i>idem</i>
Reproductibilité	✓ Revendiquée (mais contestée, cf. <i>infra</i>).	✓ Expériences dont la reproductibilité est testée avec succès
Robustesse	✓ Revendiquée (mais contestée, cf. <i>infra</i>).	✓ Expériences dont la robustesse est testée avec succès
Exhaustivité (documentation)	✓ Documentation exhaustive.	✓ <i>idem</i>
Economie (documentation)	✓ Documentation économe.	✓ <i>idem</i>
Cohérence lexicale	✓ Le vocabulaire est univoque.	✓ <i>idem</i>
Cohérence symbolique	✓ Les symboles sont univoques.	✓ <i>idem</i>
Non contradiction interne	✓ Discours non contradictoire	✓ <i>idem</i>
Non contradiction externe	✓ Discours non contradictoire	✓ <i>idem</i>
Non vacuité	✓ Le discours répond au problème posé.	✓ <i>idem</i>
Relativité	✓ La portée du discours est limitée.	✓ <i>idem</i>

180. Cf. supra, § 5.2.1.4.1.

181. R. Blondlot. *Rayons N : recueil de communications faites à l'Académie des Sciences*. Gauthier-Villars éd., Paris, 1904. Accessible sur le site de la BNF-Gallica, ref. ark:/12148/bpt6k5542453f

182. John Sommerville (1941). Umbrellaology, or, methodology in social science. *Philosophy of Science*, vol 8(4), pp. 557-566. Extrait accessible en ligne : <http://physics.weber.edu/johnston/astro/umbrellaology.htm> (consulté août 2014)

Cohérence logique	✓ Aucune incohérence	✓ <i>idem</i>
Non scolasticité	✓ Il n'est pas fait appel à l'argument d'autorité.	✓ <i>idem</i>
Univocité d'une loi Robustesse d'une loi Économie d'une loi	✓ Les lois énoncées sont univoques, robustes et économes.	✓ <i>idem</i>

Tableau 4.2.2. : Vérification des CS par les expériences sur les rayons N et par un ombrellologue distingué

4.2.2.1. Robustesse et reproductibilité des expériences sur les Rayons N

L'affaire des rayons N pose des problèmes de reproductibilité et de robustesse très spécifiques. En effet, en physicien expérimenté, René Blondlot s'est consciencieusement assuré dans son propre laboratoire de la fiabilité de ses résultats ; ceux-ci ont par ailleurs été reproduits par des centaines de physiciens et de médecins, principalement lorrains, dans les années qui ont suivi ses découvertes. Il semble difficile de mettre en cause la scientificité de sa démarche de ce point de vue.

Toutefois la reproductibilité de ces expériences a rapidement été mise en cause par des chercheurs allemands, anglais et parisiens dans le contexte nationaliste exacerbé de l'avant-guerre. La querelle qui s'en est suivie a impliqué de très grands noms de la science de l'époque, sans qu'une réponse évidente n'apparaisse. Sa solution définitive a impliqué une "enquête scientifique" faisant appel à toute l'ingéniosité de physiciens expérimentateurs du calibre de Pierre Curie et de Robert Wood.

Ce débat apparaît donc plutôt, à l'époque, comme une *querelle d'interprétation* de résultats difficiles à établir que comme un problème de méthodologie. L'intégrité des intervenants ne semble à aucun moment être en cause.

Approche ultra-sceptique

Une lecture extrême du critère de reproductibilité revient à ne pas se satisfaire même de la publication de centaines de confirmations formelles, tant que subsiste la moindre contestation. Les expériences de R. Blondlot ne peuvent alors être considérées comme reproductibles et donc comme scientifiques ; toutefois, si l'on devait imposer un tel niveau d'exigence à toutes les publications de chercheurs professionnels, bien peu passeraient sans doute ce crible.

Approche de la reproductibilité locale

Si en revanche on accepte la possibilité même de résultats contradictoires, pourvu que suffisamment de confirmations soient disponibles, les revendications de Blondlot apparaissent suffisamment étayées pour avoir été légitimement reconnues *a priori* comme raisonnablement robustes et reproductibles.

Il se trouve que dans le cas particulier des rayons N, l'Histoire a donné raison aux détracteurs de Blondlot. Il semble toutefois difficile d'exiger de critères opératoires de reproductibilité et de robustesse d'être discriminants dans une situation aussi exceptionnelle.

C'est *a fortiori* le cas de la science scolaire, pour laquelle on s'est contenté de définir un critère de "reproductibilité locale",¹⁸³ plus faible encore. À cette aune, la vérification locale de la reproductibilité des travaux de Blondlot n'apparaît pas critiquable.

En pratique, les critères de scientificité retenus pour la science scolaire apparaissent donc incapables de discriminer une situation de science pathologique.

4.2.2.2. Ombrellologie

L'ombrellologie est une discipline spécifiquement conçue par un épistémologue pour présenter autant d'aspects que possible d'une science expérimentale, tout en restant strictement empirique. Il n'est donc pas surprenant qu'elle satisfasse sans difficulté à tous les critères de scientificité considérés, à l'exception de **l'exploitation du spectre de généralité**.

L'ombrellologie présente en effet, par construction, un spectre de généralité assez étroit. Si ses praticiens naviguent bien entre considérations particulières et (faiblement) générales, on se retrouve une fois de plus, comme dans le cas d'une investigation de type « garagiste », confronté à la question de la largeur de spectre acceptable. La conclusion est également la même : *au regard de ce qu'on peut attendre d'élèves de l'école primaire*, la méthode empirique d'investigation sur les parapluies peut être considérée comme scientifique.

L'analyse originale de John Sommerville portait au contraire sur la scientificité de l'ombrellologie au regard des standards de la science académique. Il raisonne en termes de *prédictibilité*, dont le niveau est corrélé à celui de la généralité des théories et des modèles prédictifs. Or, pour lui, « *le niveau de prédictibilité qui serait effectivement ajouté par cette nouvelle "science" est si minime qu'il en devient négligeable* »¹⁸⁴. L'ombrellologie ne constitue donc pas selon lui une science, y compris dans le contexte des sciences sociales.

Remarque : Ce critère de prédictibilité n'a pas été retenu dans le jeu de critères considérés pour la science scolaire (cf. § 5.2.2.2.1). L'exemple de l'ombrellologie montre comment son champ d'application vient s'inscrire dans celui du critère d'agilité. On peut ainsi concevoir qu'au cours de leur scolarité les élèves seront amenés à prendre conscience de l'existence de niveaux de généralité plus élevés et de leur intérêt en termes de capacité de prédiction.

5.4.3. SCIENTIFICITE DE DISCOURS EN RAPPORT AVEC LA SCIENCE

Le public scolaire, et plus généralement le grand public, a rarement accès à des discours scientifiques primaires, décrivant dans le détail des résultats récents. Il est plus souvent confronté soit à des discours secondaires, comme celui de vulgarisateurs ou d'experts, soit à des discours s'appuyant sur la science et ses images, et reproduisant éventuellement des discours d'apparence scientifique, mais sans revendiquer effectivement aucune scientificité propre, comme la science-fiction.

183. Cf. *supra*, § 5.3.2.2.1.

184. John Sommerville (1941), "Umbrellaology, or, methodology in social science", *op. cit.*

4.3.1. Vulgarisation et discours d'experts

On envisagera ici trois discours secondaires archétypaux, par des intervenants réputés entièrement compétents et ayant bien intégré les discours primaires correspondants, eux-mêmes présumés valides en termes de scientificité :

- Une présentation d'une expérience physique par un journaliste ayant adopté un point de vue interne,¹⁸⁵ et retraçant pour ses lecteurs l'argumentaire correspondant, en l'adaptant à leur niveau et, le cas échéant, en le commentant.
- Une présentation de la même expérience par un journaliste ayant adopté un point de vue externe, et mettant à la portée de ses lecteurs le discours d'un scientifique de référence, sans le remettre en cause en aucune façon.
- Une évaluation de cette expérience par un expert reconnu,¹⁸⁶ qui délivre sa propre appréciation mais n'en justifie pas les éléments techniques, réputés inaccessibles aux « non experts » qui l'ont sollicité.

	✓ Vulgarisation point de vue interne	✗ Vulgarisation point de vue externe	✗ Discours d'expert
Intégrité	[par hypothèse]	[par hypothèse]	[par hypothèse]
Transmission	✓ Objectif explicite de la vulgarisation	✓ Objectif explicite de la vulgarisation	✓ Diffusion auprès du grand public
Primauté de l'expérience	✓ Même s'il ne fait pas lui-même les expériences, le vulgarisateur s'assure du respect de cette contrainte, au même titre que pour un discours primaire.	✗ Primauté de l'autorité du discours primaire.	✗ Primauté de l'autorité de l'expert.
Recul	✓ Au même titre qu'un discours primaire (cf. <i>infra</i>)	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Exploitation du spectre de généralité	✓ Au même titre qu'un discours primaire (cf. <i>infra</i>)	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Opportunité	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Reproductibilité	✓ Au même titre qu'un discours primaire (cf. <i>infra</i>)	✓ <i>idem</i>	✗ Expérience cautionnée par l'expertise
Robustesse	✓ Au même titre qu'un discours primaire (cf. <i>infra</i>)	✓ <i>idem</i>	✗ Expérience cautionnée par l'expertise
Exhaustivité (documentation)	✓ Au même titre qu'un discours primaire (cf. <i>infra</i>)	✓ <i>idem</i>	✗ L'expertise autorise les impasses.
Economie (documentation)	✓ Au même titre qu'un discours primaire (cf. <i>infra</i>)	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>

185. La distinction entre points de vue de vulgarisation interne et externe est discutée dans la section 5.2.1.7. Notons que le vulgarisateur peut alors être le chercheur lui-même, créateur initial du discours primaire, mais qui change de registre pour s'adresser au grand public.

186. "Expert" s'entend ici au sens d'une personne qui, « ayant la connaissance acquise de certaines choses, est commise pour les vérifier et en décider » (définition du Littré). On admet ici que l'expert n'est pas l'auteur de l'expérience qu'il commente.

Cohérence lexicale	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Cohérence symbolique	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Non contradiction interne	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Non contradiction externe	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Non vacuité	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Relativité	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Cohérence logique	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>
Non scolasticité	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✗ Autorité du discours primaire	✗ Primauté de l'autorité de l'expert.
Univocité Robustesse Économie d'une loi	✓ Au même titre qu'un discours primaire	✓ <i>idem</i>	✓ <i>idem</i>

Tableau 4.3.1. : Vérification des CS par les discours de vulgarisateurs et d'experts

4.3.1.1. « L'expertise scientifique », un paradoxe permanent

On a considéré ici le cas-limite d'un discours de pure expertise, qui ne cherche pas d'autre justification que sa propre autorité. Par nature même, un tel discours repose entièrement sur un argument d'autorité, ce qui suffit à le disqualifier du point de vue de la scientificité. Apprendre aux enfants à reconnaître de tels discours et à questionner leur légitimité peut d'ailleurs constituer l'un des objectifs d'une éducation à la citoyenneté¹⁸⁷ et favoriser leur émancipation¹⁸⁸.

Il va toutefois de soi que les discours d'experts sont souvent plus complexes, et peuvent incorporer des arguments expérimentaux et théoriques. Leur scientificité s'apprécie alors de la même façon que celle d'un discours primaire. En particulier, un discours d'expert peut s'avérer exhaustif en termes de documentation, et prendre en compte la robustesse et la reproductibilité des expériences qu'il considère. De même, il est *a priori* assez rare qu'un expert assume une contradiction directe entre son discours et les résultats d'une expérience qu'il commente, et remette donc explicitement en cause la primauté de l'expérience.

187. « C'est pourquoi les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique. » B.O. du 19 juin 2008, op. cit.

188. Jacques Bouveresse. *Promesses et dangers de la « société scientifique » : Les inquiétudes de Bertrand Russell* In : *À temps et à contretemps : Conférences publiques* [en ligne]. Paris : Collège de France, (n.d.) (consulté août 2014). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/cdf/2053>>. ISBN : 9782722601543.

La question de la scientificité d'un discours d'expert se ramène alors largement à celle de la scolasticité de son discours, et de son usage de l'argument d'autorité. Une question connexe est celle des manuels scolaires dont les auteurs ont aussi un statut d'experts et ne justifient pas toujours toutes leurs affirmations. En toute rigueur ceux-ci ne peuvent alors être considérés comme entièrement scientifiques selon leur usage de l'argument d'autorité.

Il convient de noter que c'est la scientificité d'un *discours* particulier que l'on évalue ici et non celle de l'expert lui-même. En effet son expertise est *a priori* fondée sur des réalisations et des discours antérieurs qui pouvaient, eux, respecter toutes les normes de scientificité. De même le fait qu'un manuel fasse appel à l'argument d'autorité ne disqualifie pas *a priori* son auteur comme scientifique.

4.3.1.2. Vulgarisateurs

Dans la mesure où un discours de vulgarisation de point de vue strictement externe renvoie explicitement à l'expertise de l'auteur du discours primaire, il est justiciable de la même lecture.

Inversement, un discours ou une vulgarisation de point de vue strictement interne est justiciable du même traitement qu'un discours primaire.

Dans la réalité, les textes de vulgarisation adoptent souvent un point de vue intermédiaire et leur scientificité s'apprécie aussi bien au regard de leur rapport à l'argument d'autorité que des autres critères de scientificité applicables aux discours primaires.

4.3.2. Science-fiction

On considérera ici la science-fiction sous l'aspect de ses spéculations d'ordre scientifique (cf. § 5.2.1.4.7.). Dans un premier temps, on considèrera les événements décrits dans un texte comme s'ils étaient présumés réels. Pour tester la capacité discriminante des critères de scientificité, on choisit d'une part une investigation issue d'une œuvre de littérature jeunesse répondant aux normes rigoureuses de l'exercice science-fictionnel dit de *hard science fiction*, *Le Vagabond de l'espace*,^{189,190} de Robert A. Heinlein et d'autre part une investigation issue d'une œuvre cinématographique, *Matrix*¹⁹¹ :

— [Vagabond] Les jeunes héros, Kip et Tom-Pouce s'interrogent sur le temps qu'il leur reste avant que le vaisseau dans lequel ils se trouvent ne doive effectuer un retournement sur le trajet Terre-Lune. Ils évaluent pour cela leur accélération à partir des sensations physiques qu'ils éprouvent. Chacun utilise les lois de la mécanique pour prévoir le moment du retournement du vaisseau, ils arrivent tous au même résultat, confirmé par le retournement du vaisseau au moment prévu. Plus tard, Kip, prisonnier sur Pluton, évalue de la même façon le temps nécessaire à son

189. Robert A. Heinlein, *Le Vagabond de l'espace* (*Have Spacesuit — Will Travel*, 1958), édition Livre de Poche, Paris, 2011.

190. Ugo Bellagamba et Éric Picholle, « Travaux pratiques », préface à *Le Vagabond de l'espace*, op. cit., pp. 7-16.

191. *Matrix* (*The Matrix*), 1999, dir. Andy & Lana Wachowski.

retour sur Terre sous une accélération de 8g (la résolution du problème est fournie dans le texte). Dans la mesure où il s'agit d'un juvénile initiatique, on prendra également en compte la scène finale d'interprétation et d'appropriation des résultats par les adultes.

- [Matrix] Le protagoniste, Néo, explore les propriétés de la Matrice, et plus particulièrement apprend à remodeler les lois de la gravité dans la Matrice sous le tutorat de son mentor Morphéus. Il utilise cette maîtrise des lois de la gravité lors de différents épisodes qui le confrontent aux "Agents".

	✓✗ <i>Le Vagabond de l'espace</i>	✗ <i>Matrix</i>
Intégrité	✓ Kip est un modèle très positif	✗ Les motivations de Néo sont obscures
Transmission	✓ La scène établit explicitement la nécessité de transmission des connaissances scientifiques.	✗ Savoir "secret" transmis à des "élus"
Primauté de l'expérience	✓ Les personnages donnent la primauté à l'expérience.	✓ Les personnages donnent la primauté à l'expérience dans l'histoire.
Recul	✓ Distinction claire par les personnages entre le monde qu'ils habitent et ses représentations. ¹⁹²	✓ La question de la distinction entre la Matrice et ses modèles est centrale dans le scénario.
Exploitation du spectre de généralité	✓ Kip applique des lois générales de la mécanique à plusieurs cas particuliers. ¹⁹³	✗ Aucune généralité. Les lois de la Matrice sont idiosyncratiques.
Opportunité	✓ Les expériences ont un objectif explicite	✓ <i>idem</i>
Reproductibilité	✓ Les résultats sont reproductibles.	✗ Toutes les lois sont idiosyncratiques.
Robustesse	✓ Les résultats sont robustes.	✗ Toutes les lois sont idiosyncratiques.
Exhaustivité (documentation)	✓ Kip énonce explicitement tous les éléments dont il a besoin.	✗ Toutes les lois sont idiosyncratiques.
Economie (documentation)	✗✓ Kip n'est pas assez mûr pour ne pas livrer une information surabondante, mais ses mentors sont économes. ¹⁹⁴	✗ Les expériences des personnages dans la Matrice sont intégralement enregistrées par des ordinateurs à la puissance apparemment illimitée.
Cohérence lexicale	✓ Le vocabulaire est univoque.	✗ Le terme même de <i>Matrice</i> est hautement polysémique. ¹⁹⁵
Cohérence symbolique	✓ Les symboles sont univoques.	✓✗ Certains symboles peuvent avoir plusieurs interprétations possibles. ¹⁹⁶
Non contradiction interne	✓ Discours non contradictoire	✓ Le scénario cultive les paradoxes.

192. Dans le cadre d'une analyse intradiégétique.

193. L'investigation spécifiquement considérée fait appel à un spectre de généralité assez étroit, comparable à celui qu'on peut attendre d'un très bon lycéen. On peut toutefois noter que le roman confronte son jeune protagoniste à un spectre beaucoup plus large, jusqu'aux principes les plus généraux (infra, note 198).

194. Kip est confronté à un Professeur extraterrestre archétypal, dont la principale mission est précisément de réduire son témoignage à l'essentiel, nécessaire et suffisant.

195. Une question fondatrice de la narration est : « *Qu'est-ce que la Matrice ?* »

196. Voir par exemple l'interprétation de l'artiste Yann Minh de certaines scènes de Matrix, "Métaphores sexuelles en art et au cinéma" :

<http://www.yannminh.org/french/TxtArguments090.html> (consulté août 2014).

Non contradiction externe	✓ Les <i>théories</i> physiques sont violées mais les contradictions sont explicitement justifiées. ¹⁹⁷	✗ Les lois communes ne s'appliquent pas à "l'Élu".
Non vacuité	✓ L'investigation répond au problème posé.	✓ <i>idem</i>
Relativité	✓ La portée du discours est limitée.	✓ <i>idem</i> . C'est l'un des thèmes majeurs du scénario.
Cohérence logique	✓ Aucune incohérence	✓ <i>idem</i>
Non scolasticité	✓ L'argument d'autorité n'est pas accepté quand une autre possibilité existe. ¹⁹⁸	✗ Morpheus incarne le détenteur d'un savoir secret. ¹⁹⁹
Univocité Robustesse Économie d'une loi	✓ Les lois énoncées sont univoques, robustes et économes.	✗ Toutes les lois sont idiosyncratiques.

Tableau 4.3.2. : Vérification des CS par des œuvres appartenant à la culture savante de la science-fiction

Point de vue intra-diégétique

En considérant comme on l'a fait la scientificité d'une investigation fictionnelle du point de vue du personnage qui la mène, on aboutit donc sans surprise à la conclusion que celle-ci dépend avant tout des compétences et des intentions de ce personnage : lorsqu'un auteur qui a lui-même bien assimilé la méthode scientifique choisit de décrire une investigation menée par un personnage qu'il dote des mêmes compétences, dans un univers assez proche du nôtre pour que la démarche scientifique y soit aussi efficace, son niveau de scientificité est précisément ce que l'auteur décide qu'elle soit — de l'investigation impeccablement scientifique à la démarche délibérément a-scientifique, en passant par le déficit de scientificité subtil qui peut servir de moteur à l'intrigue.²⁰⁰

Inversement, l'auteur peut choisir de décrire une investigation peu scientifique, soit que le personnage n'ait pas les compétences requises, soit qu'il se trouve confronté, comme dans *Matrix*, à un univers "truqué" dans lequel la démarche scientifique n'est *a priori* guère efficace.

197. Dans un premier temps, Kip voyage de la Lune à Pluton dans un vaisseau respectant les lois de la physique newtonienne, qu'il applique dans le calcul considéré. Dans un second temps, il entre en contact avec des extraterrestres maîtrisant le voyage supraluminique ; il constate d'ailleurs ce paradoxe, et la contradiction avec la relativité einsteinienne (qu'il ne prétend pas maîtriser). La scène finale du roman le met en présence, de physiciens humains obligés de remettre en cause l'ensemble du paradigme physique dominant pour réconcilier les théories connues avec son expérience, dont la primauté n'est jamais remise en cause. Au final, le roman constitue une leçon d'épistémologie pour ses jeunes lecteurs.

198. Confrontés à des théories trop avancées pour eux, Kip et à une autre échelle l'humanité toute entière s'engagent dans le long apprentissage nécessaire pour les maîtriser.

199. Morpheus ne revendique aucune "autorité" particulière ; il apparaît comme un "Maître", dans la tradition ésotérique. L'accès de Neo à la connaissance s'apparente donc plutôt au modèle antique d'une initiation à des "Mystères" ésotériques qu'au modèle proprement scolastique.

200. Ainsi, chez Isaac Asimov, par ailleurs biochimiste et vulgarisateur rigoureux, le jeu fréquent sur la cohérence lexicale dans les nouvelles du cycle des *Robots* (*Les Robots*, *Le Cycle des Robots 1*, éd. J'ai Lu, 2004) ; ou encore, chez le même auteur, celui sur l'argument d'autorité dans le cycle de *Fondation* (*Fondation*, *Le Cycle de fondation 1*, éd. Folio SF, 2009), celle de la science imaginaire de la "psychohistoire", présumée établie alors même que les remises en cause récurrentes du paradigme, par certains personnages comme par l'auteur lui-même sont au cœur du projet.

Si maintenant l'on considère la même investigation du *point de vue du lecteur*, plusieurs difficultés apparaissent inévitablement, même dans le cas du récit d'une enquête à la scientificité *a priori* impeccable dans le cadre de l'histoire.

— Recul : L'histoire elle-même constitue une représentation du monde considéré. Sauf exception,²⁰¹ les personnages ne sont pas conscients de leur propre statut fictionnel, au contraire du lecteur. Une discussion approfondie de la notion de "recul" dans ce contexte, et donc de la notion même de fiction, sortirait très largement du cadre du présent travail.²⁰²

— Non scolasticité : De même, le statut de l'auteur peut apparaître problématique, dans la mesure où il constitue l'autorité ultime sur les événements susceptibles de se dérouler dans ses univers.

— Non contradiction externe : Au contraire de la littérature dite mimétique, la science-fiction est une littérature spéculative, dont les intrigues intègrent par construction un *novum* en contradiction avec les connaissances disponibles dans le monde réel. Celui-ci peut en particulier violer les *théories*²⁰³ connues, comme les voyages supraluminiques de Kip dans *Le Vagabond de l'espace*, irréconciliable avec le paradigme actuel de la relativité einsteinienne.

— Économie de la documentation : Si l'on intègre dans la documentation d'une expérience l'ensemble du texte littéraire qui la décrit, celle-ci apparaît rarement économique. En effet, Les contraintes propres à la création d'une œuvre littéraire impliquent le plus souvent de fournir au lecteur des éléments nécessaires d'un point de vue diégétique (e.g. introduction de personnages, d'émotions, d'une histoire) mais non pertinents du point de vue de la documentation d'une expérience de physique typiquement.

5.4.4. RETOUR SUR LA NOTION DE CS

4.4.1. Spectre de généralité et science scolaire

Les études de cas précédentes font apparaître une difficulté récurrente en ce qui concerne la notion de spectre de généralité.

Spectre de généralité large

En effet, le critère d'exploitation afférent impose l'identification de marqueurs d'une navigation entre le général et le particulier. Une interprétation stricte de ce critère amène à ne considérer comme scientifiques que des investigations

201. Le dialogue entre les personnages et leur auteur était une caractéristique de ce qu'il était convenu d'appeler le "nouveau roman" dans les années 1960. En science-fiction, on le rencontre par exemple dans des œuvres comme *The Number of the Beast*, de Robert A. Heinlein (1981, inédit en français). Le procédé est rare dans la littérature de jeunesse.

202. Voir par exemple Umberto Eco, *Lector in fabula. Le rôle du lecteur* (1979) ; coll Biblio essais, éd. Livre de Poche, 1989 ; et Jean-Marie Schaeffer, *Pourquoi la fiction*, Seuil, Paris, 1999.

203. Par opposition aux *faits d'expérience*. Cf. *supra*, § 2.2.6.1.1.

impliquant une navigation entre des arguments assez généraux (relevant typiquement d'une théorie susceptible d'habiter le monde 3, comme l'Optique géométrique), et des considérations de faible généralité, voire spécifiques à des cas particuliers. On peut alors parler de *spectre de généralité large*.

Dans les laboratoires de recherche, il n'est pas rare de rencontrer de "purs expérimentateurs" qui ne revendiquent aucune activité théorique (et inversement). Même si le spectre de généralité de leur pratique individuelle peut alors apparaître relativement étroit, ils travaillent le plus souvent en collaboration avec de "pur théoriciens", l'exploitation du spectre de généralité étant assurée au niveau de la structure collaborative. D'autre part, de par leur formation, ils maîtrisent les théories générales de leur champ disciplinaire, et savent entrer en dialogue avec elles lorsque c'est nécessaire.

Cette interprétation stricte disqualifie efficacement comme non scientifiques non seulement les investigations de type "garagiste", mais également des domaines de recherche d'ordre purement empirique, dont l'ombrellologie est la limite.

Malheureusement, elle disqualifie aussi inéluctablement la quasi-totalité des pratiques accessibles à l'école primaire. En effet, les élèves n'y sont pas typiquement conscients des théories physiques sur lesquelles reposent les lois qu'ils manipulent et se contentent de naviguer entre cas particuliers et lois peu générales. Le spectre de généralité qu'ils exploitent est donc très étroit.

Spectre de généralité de la science scolaire

Pour adapter cette contrainte de scientificité à la science scolaire, on est donc amené à envisager une **largeur minimale du spectre de généralité** parcouru lors d'une investigation pour que celle-ci puisse être considérée comme scientifique, même avec un spectre relativement étroit, au regard de la science savante.

Cette largeur minimale dépend *a priori* du niveau considéré. Ainsi, pour des élèves de maternelles ou de CP, on se contentera d'un spectre très étroit, mais de largeur finie. Concrètement, toute généralisation explicite d'un comportement au-delà du cas particulier où il a été observé, avec retour prédictif sur un autre cas particulier, suffira à y qualifier une exploitation dûment scientifique du spectre de généralité.

Exemple : Des élèves de maternelle travaillent sur des sabliers. Après les avoir testés avec différentes quantités de sable, ils concluent que plus on met de sable dans le sablier, plus il prend de temps pour couler, ce qui constitue une proposition généralisant leurs observations. Ils classent ensuite des sabliers nouveaux apportés par l'enseignant en fonction de leur durée d'écoulement et s'appuient pour cela sur la généralité construite précédemment. Leur investigation peut être qualifiée de scientifique.

À mesure que le niveau de classe s'élèvera, on pourra être plus exigeant. Ainsi, au cycle 3, on attendra des élèves qu'ils soient capables de naviguer entre une *loi*, éventuellement construite par eux-mêmes, et différents cas particuliers.

Exemple : Des élèves de CM2 travaillent sur les équilibres et construisent une loi relativement générale affirmant que de deux objets, c'est toujours l'objet le plus lourd qui est le plus près du pivot à l'équilibre. Pour la vérifier, il leur est ensuite demandé des prédictions concernant de nouvelles situations proposées par l'enseignant en utilisant la loi établie, puis leur vérification expérimentale dans ces cas particuliers.

L'évaluation de la scientificité d'une activité extra-scolaire, comme une investigation de type "garagiste", dépendra donc également de la largeur minimale du spectre de scientificité exigée en cours de sciences. Par conséquent, elle pourra évoluer selon le niveau considéré. À l'école primaire, l'activité du garagiste pourra donc être reconnue comme scientifique.

4.4.2. Capacité discriminante

	Vulgarisation pt de vue interne	Rayons N	<i>Le Vagabond de l'espace</i>	Ombrellologie	Ingénieur FI	Vulgarisation pt de vue externe	Kepler Astrologue	Discours d'expert	Artisan garagiste	Sherlock Holmes	Inspecteur de police	Astrologue consultant	Rédacteur de rubrique astrologique	Matrix	Nb d'occurrences
Transmission	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	8
Exploitation du spectre de généralité	✓	✓	✓	✓✗	✓	✓	✓	✓	✓✗	✗	✗	✗	✗	✗	7
Reproductibilité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Idéal	✗	✓	✗	✗	✓✗	✗	✗	7
Robustesse	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Idéal	✗	✓	✗	✗	✓✗	✗	✗	7
Non scolasticité	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	7
Economie (documentation)	✓	✓	✓	✓	✓		✗	✓	✓✗	✓	✗	✗	✗	✓✗	7
Exhaustivité (documentation)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	6
Primauté de l'expérience	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	5
Economie (loi)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	NP	NP	✗	NP	✗	3
Robustesse (loi)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	NP	NP	✗	NP	✗	2
Univocité (loi)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	NP	NP	✗	NP	✗	2
Non contradiction externe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	2
Cohérence lexicale	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	2
Relativité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	2
Intégrité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✗	✗	2
Cohérence symbolique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✗	1
Cohérence logique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
Non contradiction interne	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
Non vacuité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
Recul	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
Opportunité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
Nb de critères non vérifiés	0	0	0	1	1	2	4	5	6	7	8	10	11	14	70

Tableau 4.4.2.a. : Tableau récapitulatif de la validation des critères par les différentes pratiques (NP = non pertinent)

On constate que certaines pratiques sont surdiscriminées, comme la SF fantaisiste de *Matrix* (éliminée par 14 CS sur 21) ou les différents types d'astrologie mondaine (par 10 et 11 CS) (Tableau 4.4.2.a).

Critères singuliers

Inversement, 2 pratiques ne sont discriminées que par un seul critères de scientificité (Tableau 4.4.2.b.) :

- Seul le secret de ses résultats, violant l’obligation de transmission, peut éventuellement disqualifier la scientificité de la pratique d’un ingénieur de pointe, de type “F1”.
- Seule l’inexploitabilité d’un spectre de généralité trop étroit disqualifie une ombrellologie pourtant caricaturale.

Deux autres pratiques, la vulgarisation et l’astrologie képlerienne ne sont discriminée que par deux critères de scientificité sur 21.

	Ombrellologie	Ingénieur F1	Vulgarisation pt de vue ext.	Kepler Astrologue
Transmission	✓	✗	✓	✗
Exploitation du spectre de généralité	✓✗	✓	✓	✓
Non scolasticité	✓	✓	✗	✓
Economie (documentation)	✓	✓	✓	✗
Primauté de l’expérience	✓	✓	✗	✓

Tableau 4.4.2.b. : Pratiques discriminées par un ou deux CS (extrait du précédent)

Les critères de transmission et d’exploitation du spectre de généralité, et dans une moindre mesure l’économie de la documentation, apparaissent donc singuliers, et irremplaçables.

Pratiques non discriminées

Le jeu de critères de scientificité retenu pour la science scolaire échoue à identifier les dérives qui disqualifient les pratiques de René Blondlot dans le cas particulier des rayons N, c’est-à-dire un exemple typique de “science pathologique” au sens de Langmuir.

On peut sans doute **généraliser cette réserve à la plupart des “fraudes”** délibérées ou non, au sens plus large de Babbage, impliquant un chercheur professionnel. Il semble en effet clair que l’enquête scientifique nécessaire pour les mettre à jour implique à la fois une maturité et des compétences de niveau professionnel tout à fait inaccessibles à un élève du primaire, et même dans une large mesure à leurs enseignants.

Par ailleurs, la confrontation au jeu de critères d’un discours secondaire, comme celui d’un vulgarisateur adoptant un point de vue interne ou celui d’un personnage de fiction, apparaît comme un simple filtre qualitatif : si elle permet d’identifier toutes sortes de défauts de scientificité trop fréquents dans de tels contextes, le jeu de critères s’avère incapable de discriminer comme non scientifique un discours vulgarisateur ou fictionnel dont l’auteur maîtrise et met convenablement en scène la méthode scientifique.

Des éléments contextuels — comme la publication du discours dans une collection de science-fiction, la présence d’une indication générique du type « roman » dans son paratexte permettent toutefois souvent d’identifier en tant que tel un discours fictionnel, et suffisent alors à le disqualifier en tant que discours

scientifique. La confusion des genres peut toutefois constituer un jeu littéraire délibéré.^{204 205}

Capacité discriminante du critère de transmission

Le critère de transmission est fortement discriminant, et relativement facile à tester. Son appropriation par les élèves est donc particulièrement intéressante.

Il s'avère également que sa vérification ne présente pas de difficulté particulière dans l'enseignement des sciences par démarches d'investigation. On y procède en effet systématiquement à une institutionnalisation des résultats après mise en commun et à une confrontation des résultats obtenus au moins au sein de la classe. Les élèves peuvent néanmoins se méprendre sur la fonction de cette institutionnalisation, typiquement en considérant que son statut est pédagogique et détermine ce qu'il faut retenir. La compréhension de la nécessité de la transmission en science est donc un enjeu épistémologique important à l'école.

Primauté de l'expérience

La possibilité d'exceptions légitimes à la primauté de l'expérience au cours d'une investigation de bonne foi ne semble pas aller de soi. Les exemples en sont pourtant nombreux, de l'inspecteur de police pour lequel prime la procédure au médecin qui veille d'abord à ne pas nuire. La considération de cet élément de scientificité peut donc s'avérer particulièrement fructueuse lors d'une discussion générale sur la nature de la science.

Le critère de primauté de l'expérience s'avère également efficace, et d'un emploi systématique relativement aisé, dans l'évaluation de la scientificité de discours en rapport avec la science :

— Dans le cas de discours et de productions à vocation scientifique, comme ceux d'étudiants en cours de sciences, une proportion significative des mauvaises pratiques, voire des "fraudes" au sens de Babbage, se traduisent par la mise en avant d'un résultat considéré comme plus favorable au détriment de l'expérience effective, ou d'une partie de celle-ci (cf. *Addendum* 5.a.). Le critère suffit alors à les disqualifier comme non scientifiques.

— Il permet également de discriminer efficacement, à technicité *a priori* égale, des discours d'experts légitimement "scientifiques", dans leur rapport à l'expérience du moins, de discours d'autorité. Cette compétence est un enjeu majeur de la formation des (futurs) citoyens des sociétés modernes, largement informées par la science et la technique.

— D'un point de vue plus scolaire, il permet également de faire la part, au cours d'une investigation documentaire, entre d'une part des témoignages

204. Georges Perec, Mise en évidence expérimentale d'une organisation tomatotopique chez la soprano (*Cantatrix sopranica* L.), in *Cantatrix Sopranica L. et autres écrits scientifiques*, éd. du Seuil, collection Librairie du XX^e siècle, 1991.

205. Isaac Asimov, Les Propriétés endochroniques de la thiotimoline resublimée (*The Endochronic Properties of Resublimated Thiotimoline*, 1948), in *La Mère des mondes*, éd. Denoël, Présence du futur, n°199, 1993.

d'expérience personnelle susceptibles de s'intégrer dans une démarche proprement scientifique, et d'autre part de simples opinions.

— Il permet enfin, avec le critère de non scolasticité, d'application parfois plus subtile de discriminer des discours de vulgarisation (au sens le plus large) de point de vue interne, susceptibles d'être reconnus comme scientifiques au niveau de la science scolaire, et de point de vue purement externe, qui le sont rarement.

Reproductibilité et robustesse

Une application stricte des critères de reproductibilité et de robustesse s'avère assez efficace pour récuser la scientificité de nombreuses pratiques s'écartant du champ traditionnel des sciences dites exactes, comme l'astrologie ou une enquête policière.

Il convient de noter que cette lecture stricte des critères de reproductibilité et de robustesse risque également d'exclure du champ de la science des pratiques considérées comme légitimes par les sciences humaines, par exemple. Cette difficulté classique²⁰⁶ sort toutefois du champ du présent travail, qui ne vise à établir qu'un jeu de critères de scientificité opératoires *pour les sciences physiques*.

Cohérence, intégrité et recul

Les exigences de cohérence, d'intégrité et de recul s'avèrent peu sélectives pour les cas d'école impliquant des archétypes idéalement compétents envisagés ici. Il suffirait toutefois de remplacer ces derniers par des praticiens-tests plus réalistes, en analysant par exemple des "affaires" ayant défrayé la chronique, ou encore en les choisissant parmi des personnages de fiction spécifiques, prenant en compte la faillibilité humaine,²⁰⁷ pour qu'ils prennent toute leur importance.

5.4.5. DES JEUX DE CRITERES DISCRIMINANTS POUR L'ECOLE PRIMAIRE

4.5.1. Jeu entier de 21 critères

La section 5.4. ne visait pas à l'exhaustivité, mais à tester dans des contextes très différents la capacité discriminante du jeu de CS précédemment construit. Au total, ce jeu entier de 21 critères permet de discriminer 11 des 14 pratiques archétypales dont la scientificité a été explorée. Celles-ci ayant été choisies pour couvrir un spectre de pratiques assez varié pour pousser à leurs limites toute sortes de critères épistémologiques, on peut estimer que cet objectif de représentativité a été atteint.

206. Voir par exemple Madeleine Grawitz, "Observation, hypothèse, expérimentation", in *Méthodes des sciences sociales*, pp. 340-349, Précis Dalloz, Paris, 9^e éd., 1993.

207. « *Philosophers once put these [reductionism] methods at the core of a formalistic foundationalist philosophy of science. but this view is fundamentally flawed by idealizations we make about how we reason. [...] I seek methodological tools appropriate to well-adapted but limited and error-prone beings. We need a philosophy of science that can be pursued by real people in real situations in real time with the kind of tools that we actually have — now or in a realistically possible future.* » William C. Wimsatt, *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*, Harvard Univ. Press, Cambridge, U.S.A., 2007, pp. 4-5.

La même approche s'adapterait facilement, *mutatis mutandis*, à toute investigation spécifique susceptible d'être envisagée à l'école (e.g. investigation du plombier, de l'électricien).

4.5.1.1. Un pouvoir discriminant satisfaisant

Les trois pratiques non discriminées par l'ensemble canonique des CS sont, sans surprise, les cas-limites les plus intrigants pour l'épistémologue. Il apparaît aussi que ce sont les moins pertinentes à l'école primaire :

- pratique pathologique de la science par un professionnel (exemple des rayons N).

A priori hors de portée d'un élève de primaire et de façon plus générale toutes les mauvaises pratiques d'une technicité inaccessible au primaire.

- discours vulgarisateur dont l'auteur maîtrise suffisamment la méthode scientifique pour apparaître lui-même comme scientifique.

- discours fictionnel mettant convenablement en scène la méthode scientifique, et dont certains personnages apparaissent "scientifiques". L'analyse de ces discours avec des élèves de primaire, alors même que l'appropriation du statut d'un document est encore en cours de construction à l'école primaire, peut s'avérer très délicate.

Plus généralement, on peut considérer que cet outil épistémologique forgé pour les élèves du primaire et leurs enseignants n'est pas adapté à l'évaluation de la scientificité de pratiques faisant débat dans la communauté scientifique elle-même ou résultant d'un effort concerté pour tromper le lecteur : si les compromis qui ont présidé à sa conception n'ont pas significativement émoussé son pouvoir discriminant à l'égard de pratiques courantes, il n'a pas le tranchant des outils épistémologiques professionnels.²⁰⁸

D'autre part, l'analyse de la scientificité de discours faisant appel à des subtilités littéraires ou rhétoriques (mise en abyme, "double casquette", etc.) peut s'avérer inaccessible aux élèves, pour des raisons tenant moins à une réelle difficulté épistémologique qu'à la maîtrise du langage. Cette dernière constitue par ailleurs un enjeu majeur des apprentissages de l'école primaire

Le jeu de critères fournit en revanche aux élèves et à leurs enseignants des arguments solides, dépassant le simple argument d'autorité, pour exclure du champ des pratiques scientifiques des pratiques d'investigation relativement familières aux élèves, similaires à celles du garagiste ou de l'enquêteur policier que nous qualifierons d'investigations séculières.

208. La difficulté des "enquêtes scientifiques" du type "Rayons N" est d'un autre ordre : les outils épistémologiques déployés par un Robert Wood ou un Irving Langmuir ne sont pas nécessairement très sophistiqués ; mais leur emploi s'appuie sur une vaste culture scientifique et technique et sur une intuition physique inaccessible au Bétien.

4.5.1.2. Un jeu de critères (trop) lourd

Par ailleurs, les éléments de méthodologie associés aux critères les plus discriminants sont *a priori* susceptibles d'un apprentissage accessible aux jeunes élèves (e.g. la primauté de l'expérience, la transmission, la robustesse, la non scolasticité), comme on l'établira dans la partie 7.

Pour autant, ce jeu de 21 critères présente plusieurs inconvénients, au premier rang desquels sa lourdeur. Dans l'idéal, on peut concevoir la mise en œuvre de démarches d'investigation le respectant scrupuleusement et entièrement. Celles-ci devront cependant inclure non seulement l'ensemble des tests expérimentaux pertinents pour les CS relatifs à l'expérience, mais également un travail significatif sur l'argumentation et sur la documentation des résultats, etc. De telles DI seraient donc elles-mêmes, par construction, très lourdes et très longues, au risque éventuellement de lasser les participants et de réduire leur efficacité.

Des contraintes pragmatiques

De façon très générale, le succès d'une démarche d'investigation passe toujours par une adéquation entre ses objectifs pédagogiques et les contraintes pratiques qui l'encadrent.

Celles-ci sont d'abord temporelles. Concrètement, dans une séquence de quelques heures, il paraît difficile de travailler efficacement, outre le contenu physique, plus d'une demi-douzaine d'éléments méthodologiques indépendants.

Mieux (ou pire...): il s'avère difficile de simplement respecter, même implicitement, l'ensemble des 21 critères de scientificité au cours d'une séquence réelle. C'est du moins le cas du praticien-chercheur lui-même qui, tout bien considéré, n'a jamais personnellement implémenté de démarche d'investigation incontestablement scientifique à cette aune maximaliste. Les contraintes méthodologiques liées à la documentation sont les plus fréquemment sacrifiées.

Un enseignant du primaire devra en outre prendre en compte des contraintes temporelles globales, liées aux programmes et au temps limité dédié à leur mise en œuvre, mais aussi par la capacité d'assimilation des ses élèves, il ne dispose souvent pas, par surcroît, des bases épistémologiques lui permettant de maîtriser tous les enjeux soulevés par cet ensemble de CS.

Des éléments méthodologiques plus avancés

Par ailleurs, certains éléments de méthodologie ne sont pas adaptés à tous les niveaux de l'école primaire.

C'est en particulier le cas de ceux relatifs à la documentation. La nécessité d'une documentation claire et exhaustive peut apparaître au cours d'une démarche d'investigation. C'est par exemple le cas lorsqu'un participant échoue, faute de données suffisantes, à reproduire l'expérience d'un camarade pour tester sa reproductibilité. Mais la prise de conscience peut aussi s'opérer au fil de la scolarité : le retour sur des expériences menées quelques mois ou

années plus tôt permet de réaliser qu'on ne comprend plus ce que l'on avait fait alors et cru documenter. Pour les plus jeunes, et *a fortiori* à la maternelle, la notion même de documentation restante à acquérir.

D'autres éléments méthodologiques sont plus abstraits encore, comme la notion d'économie (d'une documentation encore, mais aussi d'une loi). Il semble clair que nombre d'élèves du primaire, y compris du cours moyen n'auront pas encore une maturité suffisante pour en comprendre la nécessité. Pour autant, il serait dommage d'y renoncer entièrement, du fait en particulier d'une charge esthétique qu'il n'est jamais trop tôt pour tenter de stimuler.

Au total, une application maximaliste et sans concessions du jeu entier de critères ne serait adaptée ni à la maternelle, ni même aux classes de CM.

4.5.1.3. Un jeu de critères très physicien ?

Le jeu de CS développé dans la section 5.3 a été conçu pour l'enseignement de la physique. Un avantage majeur de cette discipline est qu'elle se prête bien à la conception de séquences autour de problèmes réductibles à un petit nombre de paramètres, et à des expériences contrôlées (ne) faisant varier (que) ceux-là.

Or le concept même d'expérience contrôlée n'est pas équivalent dans toutes les disciplines. Sans même aller jusqu'aux "expériences" des cours de français,²⁰⁹ il n'a par exemple pas le même sens en mathématiques²¹⁰ qu'en physique.

D'autre part, même en s'en tenant à des disciplines relevant traditionnellement des sciences de la nature, comme la biologie, on peut rencontrer à l'école primaire des difficultés assez différentes de celles de la physique. Ainsi, le test de la reproductibilité ou de la robustesse des expériences est souvent difficile avec les moyens habituels disponibles en classe²¹¹. Il arrive aussi que la mise en œuvre des tests soit trop délicate pour de jeunes élèves. Enfin, l'absence de moyens suffisants pour "éteindre" les paramètres dont un enseignant peut souhaiter ne pas vouloir s'encombrer pour simplifier la compréhension de phénomènes complexes peut rendre la tâche périlleuse et aboutir à l'impossibilité de reproduire une expérience. Une application stricte du jeu entier de critères envisagé dans ce travail conduirait

209. En grammaire, la comparaison du comportement de certains éléments grammaticaux dans des textes peut être considéré comme une expérience. Communication privée de Frédéric Torterat, Maître de conférence, spécialiste de l'analyse linguistique, ESPE de Nice.

210. Voir à ce propos le dossier de synthèse de l'Institut Français de l'Éducation, "exemples de mise en œuvre d'une démarche expérimentale dans l'enseignement des mathématiques" (consulté août 2014) : http://ife.ens-lyon.fr/vst/Dossiers/Demarche_experimentale/exemples.htm

211. Ainsi, peut-on lire dans le chapitre "Comment obtenir de bonnes récoltes ?" du manuel *Sciences, 64 enquêtes pour comprendre le monde, cycle 3* des éditions Magnard (2010) : « Tu vas faire des expériences avec des pousses de haricots. Pour les faire germer, suis l'exemple du doc. 4. Après trois semaines, ne conserve que la plus belle germination dans chaque gobelet ; jette les autres, sinon elles risquent de pourrir ». Or des graines de haricots placées dans des conditions *a priori* identiques ne germent pas toutes de la même façon : le vivant pose donc des difficultés particulières en termes de reproductibilité. Faute de reproductibilité systématique, il est difficile de tester la robustesse d'une expérience de germination avec des élèves de primaire. Un tel test poserait par ailleurs des difficultés liées au fait que la quasi-totalité des paramètres accessibles en classe sont susceptibles d'être pertinents pour une variété de graine donnée (la température, l'humidité, l'aération...). Il est alors difficile de faire des expériences systématiques avec autant de paramètres différents et d'en tester la robustesse.

alors à considérer la biologie à l'école primaire comme non scientifique, faute de moyens (et peut-être aussi de capacité des élèves à manipuler de nombreux paramètres pertinents).

Il serait sans doute envisageable de bâtir des jeux de critères de scientificité spécifiquement adaptés à ces disciplines. Les recouvrements mais aussi et peut-être surtout les différences avec ceux développés dans le cadre de la physique seraient certainement riches d'enseignement, mais cette question déborde du champ de cette recherche.

4.5.2. Jeux restreints de critères

L'utilisation de jeux restreints de critères lève ces obstacles pour leur utilisation dans un contexte de classe ordinaire. Rien n'empêche alors de choisir un jeu de CS qui n'inclut pas un ou des critères jugés trop sélectifs au regard de la pratique sondée. Se pose alors la question du nombre optimal de critères.

Dans sa propre pratique, le praticien-chercheur emploie majoritairement des jeux de 5 à 7 CS, en adaptant leur choix au contenu traité en D.I. et aux objectifs de formation. De même, chaque enseignant pourra choisir de travailler un nombre de CS adapté au niveau de sa classe et à ses objectifs pédagogiques.

Il y a toutefois un prix à payer pour renoncer à un jeu réputé entier : c'est l'introduction d'une forme d'arbitraire dans la notion de science scolaire. Si le jeu entier par son côté maximaliste excluait trop de disciplines, un jeu restreint présente le risque inverse d'élargissement excessif de la notion de science.²¹² Les programmes et des objectifs de formation clairs sont autant d'éléments de réponses possibles pour borner des jeux restreints de CS.

212. En toute rigueur, un élargissement même considérable n'a aucune raison d'être considéré comme excessif s'il résulte d'un choix informé de l'enseignant. On verra ainsi qu'il peut être légitime de considérer comme scientifique, au sens de la science de l'école maternelle, la fabrication méthodique de crêpes par les petits. Cette approche suppose toutefois un minimum de formation épistémologique de l'enseignant ou du formateur qui détermine le jeu restreint de CS.

5.5. Pertinence des CS à l'école

5.5.1. RECOUVREMENT AVEC LES PROGRAMMES

5.1.1. Recouvrement avec les exigences du programme

Les documents officiels relatifs à l'enseignement des sciences à l'école (programmes et compétences du socle commun de l'école primaire) ne définissent pas explicitement les notions même de *science* ou de *méthode scientifique*. Leur approche, principalement en termes de compétences et d'objectifs, est foncièrement différente de celle du présent travail, basée sur les critères de scientificité. La comparaison présente donc inévitablement une part d'arbitraire et dépend de la lecture qu'on peut faire des programmes. Celle-ci n'a donc qu'un caractère indicatif.

5.1.1.1. Exigences et compétences du programme sans enjeu de scientificité

Sans revenir une fois de plus sur le statut épistémologique des connaissances, techniques ou habiletés, rappelons que leur maîtrise n'est pas *a priori*, *en elle-même*, scientifique. Aussi centrales soient-elles dans les programmes, les compétences « *maîtrise des connaissances scientifiques* » et « *exercice d'une habileté manuelle* » ne trouvent donc pas d'écho direct en termes de scientificité.

Pour des raisons sensiblement différentes, il n'y a pas non plus de recouvrement direct entre les compétences « *questionner* » et « *formuler une hypothèse* » des programmes et les critères de scientificité, *stricto sensu*. Si ces compétences sont essentielles et au cœur de toute démarche scientifique, elles ne constituent pas des conditions *nécessaires* de la scientificité du travail de l'individu : la science est en effet une entreprise collective, et même un physicien professionnel reconnu peut, en principe du moins, se revendiquer comme un « pur expérimentateur », et laisser la formulation d'hypothèses aux « théoriciens ». ²¹³ Inversement, de nombreuses activités *a priori* non scientifiques impliquent la formulation de questionnements et d'hypothèses, l'exemple-type étant celui du garagiste automobile cherchant systématiquement l'origine d'une panne.

Nous avons aussi fait le choix de ne pas chercher à associer de CS à l'élément du programme de cycle 1 « *il observe* », aux contours trop flous pour ne pas présenter de risques de surinterprétation.

5.1.1.2. Critères de scientificité sans écho explicite dans les programmes

a/ Intégrité

Les programmes ne mentionnent pas explicitement de bonnes et mauvaises pratiques en sciences. Ce que nous avons appelé l'« intégrité », travaillée de façon transversale du point de vue de la morale (honnêteté, rapport à la « triche », etc.), n'y est donc pas explicitement une exigence scientifique de base.

213. Notons toutefois que, dans une lecture plus large, les critères de robustesse d'une loi ou d'une expérience ne peuvent être vérifiés qu'en questionnant ces dernières ; et que, plus généralement, l'examen d'un élément de scientificité est lui-même un questionnement réflexif sur la pratique ou le discours considéré.

La discussion de ce choix officiel sortirait du cadre du présent travail, mais ce n'en est pas moins une question essentielle, sur laquelle nous reviendrons dans la synthèse générale.

Les critères d'économie et de relativité, les plus abstraits de notre ensemble, ne trouvent pas non plus d'écho direct dans les programmes (sauf si l'on choisit une interprétation résolument large de ces termes, et de celui de « rationalité » au cycle 1 en interprétant de façon arbitrairement large le terme "rationalité").

b/ Scientificité d'une loi

Plus surprenante est l'absence d'éléments du programme associés aux CS relatifs à la scientificité d'une loi, alors même que les élèves apprennent à manipuler et à construire des lois à l'école.

c/ Modélisation et recul

Les programmes des cycles 1 & 2 n'intègrent pas non plus de référence claire à la modélisation, à laquelle le CS de recul aurait pu être associé. Les progressions du cycle 3 mentionnent uniquement la modélisation, sans autre précision, en lien avec l'apprentissage de contenus très spécifiques : en physique quand il s'agit de comprendre les phases de la Lune et de savoir interpréter le mouvement apparent du Soleil, en biologie quand il est demandé de modéliser les mouvements respiratoires et de concevoir des modélisations de mouvements de flexion/articulation.

5.1.1.3. Méthodologie et "esprit de la Main à la Pâte"

D'une façon générale, la méthodologie scientifique n'apparaît explicitement ni dans les programmes 2008, ni dans les modifications des programmes d'enseignement de 2012 qui les complètent. Dans les programmes de 2008, on pourrait éventuellement considérer qu'elle est intégrée à la notion de "démarche d'investigation",²¹⁴ mais cette dernière n'y est pas non plus explicitement définie. Elle disparaît d'ailleurs entièrement du texte de 2012, seul demeurant le terme de "investigation", sans plus de précision :

« Les élèves dépassent leurs représentations initiales par l'observation et la manipulation. Ils mènent des investigations qui les amènent à décrire leurs observations et à maîtriser un vocabulaire de plus en plus précis. [...] C'est en menant les différentes investigations que l'élève pourra mobiliser et s'approprier le vocabulaire nécessaire qui sera systématiquement repris dans le cahier de sciences, particulièrement dans les résumés de connaissances acquises. »²¹⁵

Les documents d'accompagnement des programmes 2002, qui précisaient les divers aspects d'une démarche expérimentale d'investigation, semblent également avoir été supprimés du site du Ministère de l'Education Nationale en 2008.²¹⁶

214. Voir la section 2.4.2. pour une discussion sur les relations entre démarche d'investigation et méthodologie scientifique.

215. *Bulletin Officiel* n°1 du 5 janvier 2012, NOR MENE1131499A, pp. 6 & 17.

216. On les trouve toujours sur les sites de certaines circonscriptions de l'inspection de l'éducation Nationale, avec toutes les précautions d'usage. A titre d'exemple : « Même si les documents d'accompagnement des programmes de 2002 ne correspondent pas aux programmes de 2008 et qu'ils ont perdu leur aspect prescriptif, ils contiennent des informations qui peuvent être utiles aux enseignants. Ils ne sont donc

La mention explicite de « *l'esprit de la Main à la pâte* » constitue toutefois une indication indirecte de méthodologie :

*« Observation, questionnement, expérimentation et argumentation pratiqués, par exemple, selon l'esprit de la Main à la pâte sont essentiels pour atteindre ces buts ; c'est pourquoi les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique. »*²¹⁷

Le site²¹⁸ de la Fondation²¹⁹ *La Main à la Pâte*, ne propose cependant pas non plus explicitement de document spécifiquement dédié à la méthodologie /démarche scientifique en général ; il propose en revanche un forum de discussion dans lequel des experts du site donnent leur point de vue sur des questions méthodologiques.

On y retrouve par ailleurs des extraits des documents d'accompagnement 2002, ainsi qu'un guide méthodologique consacré à la démarche d'investigation, *La Démarche d'investigation, comment faire en classe ?*, par Edith Saltiel,²²⁰ qui fournit des outils concrets pour sa mise en œuvre en classe et inclut, en filigrane, des éléments de scientificité.

e.g. importance de la reproductibilité : « Afin qu'il n'y ait pas de contestation sur les résultats expérimentaux, il est important que l'enseignant veille à ce qu'une expérience soit réalisée plusieurs fois soit par le même groupe soit par deux groupes différents afin de vérifier qu'aucune erreur expérimentale n'a été commise, ce qui donnera une meilleure confiance dans les résultats obtenus et ce qui, au passage, officialise le droit de se tromper ! Il peut arriver qu'il soit nécessaire de refaire une expérience... » p. 21.

5.1.1.4. Recouvrement CS/programmes au cycle 1

Sans surprise, il s'avère compliqué avec les tout-petits de faire des recouvrements entre le programme et les CS, un certain arbitraire régnant inévitablement dans le périmètre des termes considérés.

Le programme du cycle 1 met l'accent sur la verbalisation, sur la description du monde sans entrer dans l'expérimentation "scientifique" ni *a fortiori* sur la modélisation ou la scientificité d'une loi, pourtant dans une certaine mesure accessibles aux élèves de cycle 1, comme nous le montrerons en détail dans la section 7.

proposés qu'en tant que ressources annexes pratiques. » sur le site de l'I.E.N. de la circonscription de Martigues :

<http://www.martigues.ien.13.ac-aix-marseille.fr/spip/spip.php?article28> (consulté août 2014)

217. Programmes 2008, *Bulletin Officiel* Hors-série n°3 du 19 juin 2008, NOR MENE0813240A (c'est nous qui soulignons).

218. Site de la Main à la Pâte : <http://www.fondation-lamap.org> (consulté août 2014).

219. Notons que *La Main à la Pâte* n'est devenue une fondation qu'en 2011 ; en 2008, elle n'était encore qu'une initiative de l'académie des sciences. Son site, quoique en évolution permanente, est toutefois dans la continuité de celui de 2008.

220. Edith Saltiel, *Guide méthodologique La Démarche d'investigation, comment faire en classe ?*, publication en ligne le 21/10/2005 sur le site de la Main à la Pâte :

<http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe> (consulté août 2014)

	Méthodologie scientifique					Observation/Expérience				
	Comportement		Primaauté de l'expérience	Représentation du monde		Opportunité	Fiabilité		Documentation	
	Loyauté	Transmission		Recul	Agilité		Reproductibilité	Robustesse	Exhaustivité	Economie
Il observe										
Il pose des questions										
Il progresse dans la formulation de ses interrogations vers plus de rationalité										
Il apprend à adopter un autre point de vue que le sien propre			✓							
Sa confrontation avec la pensée logique lui donne le goût du raisonnement			✓	✓	✓					
Il devient capable de décrire, grâce au langage		✓								
Il devient capable de décrire, grâce à des formes variées de représentation (dessins, schémas)		✓								

	Discours & Représentations						Argumentation & Théorisation				
	Cohérence lexicale et symbolique		Non contradiction				Cohérence logique	Non scolasticité	Scientificité d'une loi		
	C. Lexicale	C. Symbolique	N.C. interne	N.C. externe	Non vacuité	Relativité			Univocité	Robustesse	Economie
Il observe											
Il pose des questions											
Il progresse dans la formulation de ses interrogations vers plus de rationalité	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			
Il apprend à adopter un autre point de vue que le sien propre											
Sa confrontation avec la pensée logique lui donne le goût du raisonnement							✓	✓			
Il devient capable de décrire, grâce au langage	✓										
Il devient capable de décrire, grâce à des formes variées de représentation (dessins, schémas)		✓									

Tableau 5.1.1.4. : Relation entre les directives du programme et les CS au cycle 1

5.1.1.5. Recouvrement CS/programmes au cycle 2

Le programme au cycle 2 continue de mettre l'accent sur la verbalisation et la description du monde. On peut tout de même faire apparaître des éléments de scientificité liés à l'expérimentation et à l'observation, en particulier *l'opportunité*, sans interpréter de façon excessivement large les programmes. Les CS de *reproductibilité* et de *robustesse* ont été cependant associés ici à des compétences relevant *a priori* plutôt des mathématiques et incluses dans le domaine d'activité "découverte du monde" des programmes que de la culture scientifique, dans une interprétation large de ces compétences.

	Méthodologie scientifique					Observation/Expérience				
	Comportement		Primaauté de l'expérience	Représentation du monde		Opportunité	Fiabilité		Documentation	
	Loyauté	Transmission		Recul	Agilité		Reproductibilité	Robustesse	Exhaustivité	Economie
Il maîtrise le vocabulaire spécifique/Il mène des investigations qui l'amènent à maîtriser un vocabulaire de plus en plus précis										
Il dépasse ses représentations initiales en observant et en manipulant.			✓			✓				
Il mène des investigations qui l'amènent à décrire ses observations						✓				
Une courte trace écrite pouvant inclure des croquis légendés est indispensable pour permettre aux élèves de mémoriser les connaissances et le vocabulaire associés		✓								
être précis et soigneux dans les tracés, les mesures et les calculs							✓	✓		
estimer une mesure							✓	✓		
observer pour mener des investigations						✓				
décrire pour mener des investigations						✓			✓	

	Discours & Représentations						Argumentation & Théorisation				
	Cohérence lexicale	C. symbolique	Non contradiction		Non vacuité	Relativité	Cohérence logique	Non scolasticité	Scientificité d'une loi		
	C. Lexicale	C. Symbolique	N.C. interne	N.C. externe					Univocité	Robustesse	Economie
Il maîtrise le vocabulaire spécifique / mène des investigations qui l'amènent à maîtriser un vocabulaire de plus en plus précis	✓										
Il dépasse ses représentations initiales en observant et en manipulant.											
Il mène des investigations qui l'amènent à décrire ses observations	✓		✓		✓						
Une courte trace écrite pouvant inclure des croquis légendés est indispensable pour permettre aux élèves de mémoriser les connaissances et le vocabulaire associés	✓	✓									
être précis et soigneux dans les tracés, les mesures et les calculs		✓									
estimer une mesure											
observer pour mener des investigations											
décrire pour mener des investigations	✓		✓		✓						

Tableau 5.1.1.5. : Relation entre les directives du programme et les CS au cycle

5.1.1.6. Recouvrement CS/programmes au cycle 3

Au cycle 3, la gamme des compétences travaillées et des exigences du programme s'élargit et permet un meilleur recouvrement avec les CS. Même si la marge d'interprétation reste importante, les descriptifs des programmes et des compétences sont plus étoffés et permettent une prise de risque moindre dans l'interprétation.

	Méthodologie scientifique						Observation/ Expérience				
	Comportement			Représentation du monde		Opportunité	Fiabilité		Documentation		
	Loyauté	Transmission	Primauté de l'expérience	Recul	Agilité		Reproductibilité	Robustesse	Exhaustivité	Economie	
Les sciences expérimentales ont pour objectif de comprendre et de décrire le monde réel											
Leur étude contribue à faire saisir la distinction entre faits et hypothèses vérifiables d'une part, opinions et croyances d'autre part			✓								
Observation, expérimentation sont essentielles						✓					
Questionnement essentiel											
Argumentation essentielle											
Les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une D.I. qui développe curiosité, créativité, esprit critique et intérêt pour le progrès scientifique et technique											
Les travaux font l'objet d'écrits divers consignés dans un carnet d'observations ou un cahier d'expériences		✓							✓		
L'élève pourra mobiliser et s'approprier le vocabulaire nécessaire en menant différentes D.I.											
Le vocabulaire nécessaire sera systématiquement repris dans le cahier d'expériences, particulièrement dans les résumés de connaissances acquises		✓									
Les données pourront être issues des mesures réalisées durant les observations, des calculs effectués durant la D.I.							✓	✓	✓		
Les données pourront figurer dans les documents fournis aux élèves.											
Les données seront présentées sous forme de tableaux et de graphiques.		✓									
L'interprétation de ces données aidera à la validation des hypothèses de départ et à la formulation des conclusions ... en travaillant la compréhension des textes documentaires lors de séances de recherches sur documents											
pratiquer une D.I. : savoir observer						✓	✓	✓			
pratiquer une D.I. : questionner											
manipuler et expérimenter						✓	✓	✓			
formuler une hypothèse											
tester une hypothèse			✓		✓	✓	✓	✓			
mettre à l'essai plusieurs pistes de solutions							✓	✓			
argumenter											
exprimer et exploiter les résultats d'une mesure ou d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit et à l'oral											
maîtriser des connaissances dans divers domaines scientifiques											
mobiliser ses connaissances dans des contextes scientifiques différents et dans des activités de la vie courante					✓						
exercer des habiletés manuelles, réaliser certains gestes techniques											

	Discours & Représentations						Argumentation & Théorisation				
	Cohérence lexicale et symbolique		Non contradiction		Non vacuité	Relativité	Cohérence logique	Non scolasticité	Scientificité d'une loi		
	C. Lexicale	C. Symbolique	N.C. interne	N.C. externe					Univocité	Robustesse	Economie
Les sciences expérimentales ont pour objectif de comprendre et de décrire le monde réel	✓	✓	✓	✓	✓						
Leur étude contribue à faire saisir la distinction entre faits et hypothèses vérifiables d'une part, opinions et croyances d'autre part								✓			
Observation, expérimentation sont essentielles											
Questionnement essentiel											
Argumentation essentielle							✓				
Les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une D.I. qui développe curiosité, créativité, esprit critique et intérêt pour le progrès scientifique et technique											
Les travaux font l'objet d'écrits divers consignés dans un carnet d'observations ou un cahier d'expériences	✓		✓	✓	✓						
L'élève pourra mobiliser et s'approprier le vocabulaire nécessaire en menant différentes D.I.	✓										
Le vocabulaire nécessaire sera systématiquement repris dans le cahier d'expériences, particulièrement dans les résumés de connaissances acquises	✓										
Les données pourront être issues des mesures réalisées durant les observations, des calculs effectués durant la D.I.		✓									
Les données pourront figurer dans les documents fournis aux élèves.			✓	✓							
Les données seront présentées sous forme de tableaux et de graphiques.		✓									
L'interprétation de ces données aidera à la validation des hypothèses de départ et à la formulation des conclusions			✓	✓			✓				
... en travaillant la compréhension des textes documentaires lors de séances de recherches sur documents			✓	✓							
pratiquer une D.I. : savoir observer											
pratiquer une D.I. : questionner											
manipuler et expérimenter											
formuler une hypothèse							✓				
tester une hypothèse											
mettre à l'essai plusieurs pistes de solutions											
argumenter							✓				
exprimer et exploiter les résultats d'une mesure ou d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit et à l'oral	✓										
maîtriser des connaissances dans divers domaines scientifiques											
mobiliser ses connaissances dans des contextes scientifiques différents et dans des activités de la vie courante											
exercer des habiletés manuelles, réaliser certains gestes techniques											

Tableau 5.1.1.6. : Relation entre les directives du programme et les CS au cycle 3

5.1.2. Possibilité de séquences adaptées

On se contentera de renvoyer aux quarante séquences complètes en démarche d'investigation que nous avons développées (cf. *Science à l'école, côté jardin. Le Guide pratique de l'enseignant*, Annexe 2.A.) et systématiquement testées avec des élèves et des enseignants, en particulier dans le contexte de "Jardins des sciences".

Les 24 séquences de ce *Guide pratique* adaptées à l'école élémentaire permettent effectivement aux enseignants de travailler tout jeu arbitraire d'éléments de scientificité, à l'exception peut-être de celui d'économie d'une loi, particulièrement abstrait²²¹ (tableau 5.1.2.a.).

Les 16 séquences du même *Guide pratique* adaptées à l'école maternelle permettent également de commencer à travailler explicitement une part significative de ces éléments de scientificité, à commencer par les exigences de loyauté et de cohérence lexicale et symbolique, qui constituent des enjeux majeurs à ce niveau, mais également, déjà, des critères un peu plus abstraits, comme le recul et l'exploitation du spectre de généralité (tableau 5.1.2.b.). D'autres contraintes, comme celles liées à l'économie ou à la relativité, semblent

221. Plus précisément, la prise de conscience de l'importance d'une approche économique d'une loi scientifique peut constituer un travail transversal, qu'il est possible d'illustrer dans toute confrontation entre une analyse théorique et une séquence expérimentale.

en revanche difficilement applicables à ce niveau. Nous reviendrons en détail sur cette discussion dans la section 7, *Une science pour les petits ?*

⊕ *Lien CS et séquences de Sciences à l'école côté jardin*

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24
Méthodologie scientifique																								
Loyauté	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transmission									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Primauté de l'expérience	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Représentation du monde																								
Recul				✓									✓	✓		✓	✓							
Agilité	✓	✓	✓				✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Observation / Expérience																								
Opportunité							✓	✓	✓	✓	✓					✓		✓				✓		
Fiabilité																								
Reproductibilité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Robustesse			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
Documentation																								
Exhaustivité	✓	✓		✓	✓	✓			✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓					
Economie															✓	✓	✓	✓						
Discours & Représentations																								
Cohérence lexicale	✓	✓	✓		✓	✓			✓			✓			✓	✓		✓		✓		✓	✓	
Cohérence symbolique	✓	✓	✓				✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓					✓			
Non contradiction interne			✓		✓	✓	✓		✓			✓	✓		✓				✓					
Non contradiction externe			✓		✓	✓								✓								✓		
Non vacuité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relativité							✓									✓			✓					
Argumentation & Théorisation																								
Cohérence logique			✓			✓	✓					✓					✓	✓			✓	✓		
Non scolasticité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scientificité d'une loi																								
Univocité					✓	✓							✓	✓		✓	✓							
Robustesse	✓		✓		✓	✓	✓					✓	✓	✓		✓	✓	✓						
Economie																								

*Tableau 5.1.2.a. : Séquences permettant de travailler les éléments de scientificité en élémentaire.
(en rouge : éléments de scientificité non travaillés ; en vert : éléments de scientificité travaillés de façon transversale sans insistance sur la scientificité de la contrainte)*

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
Méthodologie scientifique																
Loyauté	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transmission																
Primauté de l'expérience	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Représentation du monde																
Recul							✓				✓		✓			✓
Agilité			✓			✓	✓	✓		✓	✓					✓
Observation / Expérience																
Opportunité								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Fiabilité																
Reproductibilité			✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Robustesse			✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓					✓
Documentation																
Exhaustivité																
Economie																
Discours & Représentations																
Cohérence lexicale	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cohérence symbolique							✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓
Non contradiction interne	✓	✓		✓		✓				✓				✓		
Non contradiction externe													✓			
Non vacuité																
Relativité																
Argumentation & Théorisation																
Cohérence logique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Non scolasticité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scientificité d'une loi																
Univocité																
Robustesse						✓	✓	✓			✓					✓
Economie																

Tableau 5.1.2.b. : Séquences permettant de travailler les éléments de scientificité en maternelle (mêmes conventions)

5.5.2. COMPATIBILITE AVEC LA DEMARCHE D'INVESTIGATION

5.2.1. Éléments de scientificité intrinsèques ou implicites

5.2.1.1. Analyse *bottom-up* des contraintes de la DI

Il ressort de l'analyse des diverses approches de la démarche d'investigation²²² qu'elles partagent quatre éléments de scientificité :

— primauté de l'expérience : la pédagogie par démarche d'investigation par nature vise à amener les élèves à tester et vérifier expérimentalement les idées qu'ils formulent ; et à les remettre en cause en cas de contradiction avec les résultats obtenus au cours de leurs recherches.

Remarque : La vérification de la primauté de l'expérience ou la non scolasticité peut s'avérer complexe lorsque l'approche choisie pour la démarche d'investigation permet de substituer une source secondaire (e.g. un compte-rendu d'expérience ou un documentaire) à la confrontation systématique à l'expérience des affirmations des participants²²³. Toutefois, le type de démarche d'investigation considéré dans ce travail lève cette difficulté.

— non scolasticité : le maître ne fournit pas les réponses aux questions posées et n'accepte pas d'idées de la part des élèves avant qu'elles n'aient été passées au crible de l'expérience.

— opportunité : la démarche d'investigation repose sur la recherche de réponse à un questionnement bien défini.

— aspect collectif de la recherche : les élèves travaillent en petits groupes et mettent en commun leurs résultats.

C'est ce dont rend compte la définition proposée dans l'État des lieux (§ 2.1.4.1) :

La démarche d'investigation est une façon d'induire un questionnement et de le laisser se développer, spontanément mais dans un cadre soigneusement chorégraphié, en encourageant tout à la fois la discussion entre pairs, pour élaborer les réponses, et le recours aussi systématique que possible à l'expérience pour éprouver les réponses des uns et des autres ; le meneur de jeu se faisant guide et accoucheur, plutôt que figure d'autorité détentrice du savoir.

Au delà de ces quatre éléments de scientificité intrinsèques à toute démarche d'investigation, la mise en œuvre concrète telle qu'elle est encouragée par les programmes suggère fortement 8 autres éléments de scientificité.

— transmission : les discussions entre pairs impliquent la transmission des résultats obtenus par les uns et les autres au sein de la classe.

— intégrité : l'enseignant exige le respect d'un certain nombre de bonnes pratiques.

— cohérence lexicale, symbolique et logique, non contradiction interne et externe, non vacuité : il s'agit là d'objectifs permanents à l'école primaire.

222. cf. l'État des lieux du chapitre 2, § 2.4.2. & § 2.4.3. ainsi que l'Addendum 2.b.

223. Le rapport de la démarche d'investigation à la primauté de l'expérience est développé dans le chapitre suivant, en section 6.1.1.1.

Onze de ces éléments de scientificité sont directement liés à l'un ou l'autre des critères de scientificité formulés en 5.3. Le douzième, le caractère collectif de la démarche l'est indirectement lié par le biais du critère de transmission.

Caractère discriminant des contraintes de la DI

On peut donc considérer que le simple respect des contraintes associées à une démarche d'investigation bien menée suffit à discriminer un nombre significatif de pratiques non scientifiques (Tableau 5.2.1.1.)

Un tel jeu restreint de critères s'avère relativement discriminant puisqu'il discrimine 10 des 14 pratiques testées dans les sections précédentes.

	Vulgarisation pt de vue interne	Rayons N	Le Vagabond de l'espace	Ingénieur FI	Vulgarisation pt de vue externe	Kepler Astrologue	Discours d'expert	Artisan garagiste	Sherlock Holmes	Inspecteur de police	Astrologue consultant	Rédacteur de rubrique astrologique	Matrix
Transmission	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Non scolasticité	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Primauté de l'expérience	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓
Non contradiction externe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
Cohérence lexicale	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Intégrité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✗	✗
Cohérence symbolique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✗
Cohérence lexicale, logique, non contradiction interne et externe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tableau 5.2.1.1. : Capacité discriminante du respect des contraintes générales de la démarche d'investigation (Extrait du Tableau 4.4.2.a.)

5.2.1.2. Comparaison avec une analyse *top-down*

De même trois des sept caractéristiques de la science retenues par N. G. Lederman²²⁴ pour qualifier la nature de la science découlent naturellement des principes de la démarche d'investigation :

- La connaissance scientifique est provisoire : La D.I. implique une remise en cause des interprétations précédemment établies au regard des nouveaux résultats trouvés.
- La connaissance scientifique est fondée sur une base empirique : La D.I. cherche à tester et vérifier expérimentalement les idées.
- La connaissance scientifique implique des déductions, l'imagination et la créativité d'êtres humains : La D.I. implique l'émission d'idées et d'explications par les participants.

224. Pour mémoire les 4 autres sont : la connaissance scientifique est subjective, enracinée socialement et culturellement, observations et inférences sont des éléments distincts tous comme les théories scientifiques et les lois. cf. § 2.3.2.3.1.

	Vulgarisation pt de vue interne	Rayons N	Le Vagabond de l'espace	Ingénieur F1	Vulgarisation pt de vue externe	Kepler Astrologue	Discours d'expert	Artisan garagiste	Sherlock Holmes	Inspecteur de police	Astrologue consultant	Rédacteur de rubrique astrologique	Matrix
La connaissance scientifique est provisoire	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x ²²⁵	✓
La connaissance scientifique est fondée sur une base empirique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
La connaissance scientifique implique des déductions, l'imagination et la créativité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tableau 5.2.1.2. : Capacité discriminante du respect des contraintes générales de la démarche d'investigation par rapport aux caractéristiques proposées par N. G. Lederman

On peut noter que ces trois caractéristiques très générales possèdent un très faible pouvoir discriminant et en particulier ne disqualifient que la pratique du rédacteur de rubrique astrologique.

5.2.2. Objectifs de formation

En termes didactiques, les critères de scientificité constituent un outil pédagogique double :

- méthodologique : ils peuvent être utilisés pour transmettre des éléments méthodologiques.
- épistémologique : ils peuvent être utilisés pour transmettre une vision de la nature de la science *bottom-up* (voire le cas échéant, de la notion même de scientificité).

Ces deux aspects peuvent être travaillés séparément, indépendamment de tout contenu scientifique spécifique.

Les objectifs de formation, méthodologiques ou épistémologiques, peuvent donc être différents en fonction du public considéré, enfant ou adulte. De même le jeu de critères pertinents ou des éléments méthodologiques travaillés peut dépendre du public visé.

5.2.2.1. Formation des élèves

Enseigner l'épistémologie à l'école primaire ?

La question de l'utilité d'un enseignement explicite de la nature de la science à l'école primaire reste vivement débattue en didactique des sciences. Valarie Akerson²²⁶ et N.G. Lederman²²⁷ en sont des tenants, dans le cadre d'une approche *top-down* qui a inspiré les *Next Generation Science Standards*

225. On adopte de nouveau ici la pratique définie en 5.4.2.1.3. Si on peut considérer que chaque thème astral est contingent, cette connaissance n'est pas intrinsèquement provisoire.

226. Valarie Akerson & Lisa A. Donelli. « Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain ? ». *International Journal of Science Education*, op. cit.

227. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », op. cit.

américains au contraire d'autres didacticiens éminents comme Richard Duschl²²⁸.

Une difficulté récurrente est en effet le risque d'un discours contre-productif, du fait du défaut de formation des enseignants du primaire à cet égard.²²⁹

Dans le cadre d'une approche *bottom-up* par critères de scientificité, il est possible :

- de familiariser les élèves avec des éléments de méthodologie scientifique et de s'approprier des bonnes pratiques, le plus tôt étant le mieux.
- d'identifier ces éléments méthodologiques comme des critères de validité "scientifique" des pratiques dans lesquelles ils s'engagent.

En supposant ces points acquis, il ne nous semble pas indispensable d'imposer par surcroît aux élèves de l'école primaire un cours systématique sur la nature de la science qui relève traditionnellement en France des cours de philosophie de Terminale. En revanche, leurs éventuelles questions à cet égard doivent pouvoir recevoir une réponse, de même que celles sur le statut scientifique ou non de telle ou telle pratique ; la contrainte de formation épistémologique explicite porte donc sur les enseignants plutôt que sur les élèves.

Des enjeux généralistes : intégrité et langage

Certaines contraintes méthodologiques majeures ne sont pas spécifiques aux disciplines scientifiques. Il s'agit en particulier du respect :

- de l'intégrité
- de la cohérence (lexicale, symbolique, logique)
- de la non contradiction (interne et externe)
- de la non vacuité

Il convient, en cours de science, d'insister particulièrement sur ces éléments et d'être vigilant sur leur respect effectif, mais il ne nous semble pas nécessaire de les présenter comme des éléments de méthode spécifiques, même si les enseignants doivent les conserver à l'esprit pendant leur enseignement des sciences²³⁰.

228. R. Duschl, présentation des Next Generation Science Standards à Esera 2013. Conférence "Contemporary Issues in Science Education: Perspectives from the NARST Community", Esera 2013, Chypre. <http://www.esera2013.org.cy/invited-sessions/narst-sponsored-session-at-esera-confere/> (consulté août 2014).

229. Des études réalisées dans des pays où l'enseignement de la nature de la science est au programme du secondaire (avec des enseignants spécialistes) montrent que cet enseignement est rarement effectivement mis en œuvre par les enseignants. Il est peu probable que des enseignants du primaire français, volontairement, soient plus enclins à transmettre une vision explicite de la nature de la science à leurs élèves que leurs collègues contraints et spécialistes en sciences. Voir Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », op. cit.

230. On aurait également pu évoquer ici le critère de transmission. Pour les élèves, la mise en commun des résultats et leur institutionnalisation relèvent toutefois du fonctionnement habituel de la démarche d'investigation.

Des enjeux expérimentaux

Les expériences contrôlées menées en cours de science sont en revanche les premières auxquelles les élèves de l'école primaire sont confrontés et il est important qu'ils leur associent d'entrée des réflexes méthodologiques qui leur seront utiles tout au long de leur scolarité, et au-delà :

- reproductibilité de l'expérience
- robustesse de l'expérience

Pour des élèves de l'école primaire, il ne va pas de soi *a priori* qu'il convient de tester la reproductibilité et la robustesse des résultats d'une expérience avant de pouvoir s'en prévaloir. Ces éléments de la méthode expérimentale fournissent pourtant aux élèves des éléments pour évaluer la validité de leur pratique.

De plus, ils leur permettent de saisir des contraintes auxquelles s'astreint la recherche scientifique et prendre du recul par rapport à certains discours publicitaires revendiquant des résultats "scientifiquement prouvés".

Prise de conscience de l'application d'une démarche scientifique

- recul
- exploitation du spectre de généralité

L'appréhension de l'existence de différents niveaux de représentation du monde physique (recul) et celle de différents niveaux de généralité entre lesquels naviguer (exploitation du spectre de généralité) sont, depuis Descartes, au fondement de la méthode scientifique. L'apprentissage de ces distinctions est un premier pas vers la compréhension du fonctionnement de la science pour les élèves.

Par ailleurs, une familiarisation précoce avec la navigation entre monde physique et représentations et général et particulier, peut contribuer à leur assimilation.²³¹ Le travail sur la modélisation reste cependant encore à l'état embryonnaire à l'école primaire et on n'y manipule pas de réelles théories scientifiques.

Quel jeu de critères ?

On ne peut pas envisager de travailler explicitement et simultanément les 21 contraintes méthodologiques associées aux CS. Un choix d'un sous ensemble de CS est donc nécessaire. Un objectif de 5 à 6 éléments nous semble raisonnable à l'école primaire.^{232,233}

231. On connaît les difficultés rencontrées par les collégiens pour intégrer ces éléments, sans doute encore renforcées par le cumul de cet apprentissage avec celui des difficultés formelles associées à la relation parfois complexe qu'entretiennent les élèves avec les mathématiques. cf. 7.3.1.

232. Une étude réalisée avec des enseignants de maternelle montre que ceux-ci ne considèrent que rarement plus de 6 éléments. cf. 6.5.2.2. et 7.4.1. Les sondages menés par le praticien-chercheur parmi des enseignants d'élémentaire en formation indiquent qu'ils se comportent de façon semblable.

233. Le praticien-chercheur travaille lui-même le plus souvent avec un jeu de 5-6 critères de scientificité lorsqu'il fait vivre des démarches d'investigation aux adultes en formation, pour ne pas alourdir la démarche et pour conserver l'attention et le plaisir des participants.

Leur nature peut dépendre à la fois des élèves considérés et des choix pédagogiques de l'enseignant. Les enseignants de l'école primaire bénéficient en effet d'une grande liberté pédagogique. Les programmes scolaires précisent des contenus et une approche souhaitable générale mais laissent les enseignants relativement libres dans la mise en place effective des activités proposées aux élèves.

5.2.2.2. Formation des enseignants

Faire acquérir des éléments de méthodologie scientifique aux élèves du primaire suppose *a minima*, d'une part, que les enseignants qui en ont la charge en aient eux-mêmes conscience et d'autre part, que ceux-ci soient prêts à les mettre en œuvre et à les transmettre à leurs élèves.

Aucune de ces conditions ne semble aujourd'hui remplie de façon satisfaisante. Des études réalisées hors de France ont en effet montré que les enseignants ont souvent une connaissance non adéquate de la nature de la science,²³⁴ et nos propres résultats semblent confirmer ce résultat en ce qui concerne les enseignants et futurs enseignants français.²³⁵ Dans ces conditions, il n'est pas surprenant qu'une proportion importante d'enseignants du primaire s'estiment eux-mêmes incapables d'enseigner les sciences, même à un niveau élémentaire.²³⁶

Or les programmes français de l'école primaire ne fournissent pas aux enseignants d'éléments susceptibles d'évaluer la pertinence des observations et expériences menées ou de leur exploitation avec les élèves (cf. 2.3.3.1.1.). Ils leur laissent toute liberté pédagogique pour juger de la méthodologie à mettre en œuvre pour s'assurer de la fiabilité des D.I. qu'ils mettent en œuvre.

En termes très généraux, deux objectifs essentiels de formation des enseignants doivent donc être :

- de leur procurer une compréhension minimale de la nature de la science
- de les rassurer sur leur propre capacité à enseigner les sciences.

Des outils élémentaires en guise de bases épistémologiques

On envisagera plus loin en détail les différentes stratégies possibles, plus ou moins explicites, pour transmettre aux enseignants les bases épistémologiques utiles pour leur pratique de classe (§ 6.3 et 6.4).

Dans tous les cas, elles passent par l'apport d'outils pratiques que l'enseignant considère à la fois efficaces et à sa portée. Ceux-ci visent aussi à permettre aux enseignants d'approprier une méthodologie qui leur semble bien souvent à la fois complexe et monolithique, trop exigeante voire effrayante faute de suffisamment d'éléments précis.

234. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », op. cit.

235. Cette étude fait l'objet du § 6.2.

236. Jean Salençon, Allocution d'introduction du colloque « Cultiver la science. La formation continue des professeurs enseignant les sciences », Paris, avril 2010.

La stratégie *bottom-up* basée sur l'énoncé de CS vise à répondre à cette double exigence. D'une part, les éléments méthodologiques associés aux CS fournissent les éléments de base d'une boîte à outils directement applicable en classe, la formulation des CS ayant été pensée pour permettre la mise en œuvre de tests opératoires des CS. D'autre part, la présentation d'une liste limitée d'éléments peut rassurer les enseignants sur leur capacité à tous les gérer.

Choix d'un jeu restreint de critères

Demeure toutefois, comme pour les enfants, la difficulté associée à un nombre excessif de CS.

D'un point de vue pragmatique, il est en effet nécessaire que l'outil paraisse simple d'utilisation pour que les enseignants s'en emparent. Notre expérience de praticien-chercheur indique qu'il est préférable d'en proposer peu (au risque sinon du découragement devant l'ampleur de la tâche) et que s'astreindre au respect de 3 à 5 critères nécessite déjà un effort d'attention amplement suffisant pour des enseignants du primaire peu aguerris à l'enseignement des sciences.

Il paraît peu utile dans ces conditions de mettre un accent spécifique sur des critères "évidents" pour les enseignants, comme par exemple ceux de cohérence logique ou de non contradiction interne. Leur usage déborde largement le champ des pratiques scientifiques et qu'ils les appliquent pour la plupart spontanément quasi-systématiquement en classe.

Remarque : La communication des résultats et leurs discussion au sein de la classe sont des éléments intrinsèques à la démarche d'investigation correctement menée. Le critère de transmission est donc systématiquement vérifié dans les démarches d'investigation menées par le praticien-chercheur et présenté *a minima* sous son aspect pédagogique (e.g. la phase d'institutionnalisation facilite la mémorisation des élèves).

Sélection des critères retenus

A contrario, les critères que l'on privilégiera :

- portent sur des éléments régulièrement impliqués dans les activités scientifiques et sont donc les plus susceptibles d'être utilisés par les enseignants
- ne vont pas forcément de soi pour les enseignants
- peuvent enrichir les démarches d'investigation mises en place
- permettent aux enseignants de travailler des compétences identifiées comme problématiques chez les élèves

Les enseignants sont souvent d'autant plus motivés à mettre en place de nouveaux outils dans leur classe que le rapport "*avantages pour mes élèves et moi-même / coût du changement à opérer dans mes pratiques*" leur semble favorable. Une manière de promouvoir l'appropriation et l'utilisation des CS par les enseignants consiste à leur faire prendre conscience que le jeu de CS leur permet de répondre à des questions épistémologiques pour lesquelles

leurs outils habituels sont peu opératoires²³⁷. Pour cela, on peut interroger les enseignants sur la scientificité d'investigations séculières (e.g. pratique de type garagiste) et leur faire réaliser que leurs critères spontanés ou de "bon sens" sont peu opératoires, puis d'apporter des critères dont ils sont à même d'apprécier par eux-mêmes le caractère opératoire, tant d'un point de vue épistémologique que pour leur pratique de classe.

On s'assurera donc que le jeu de critères proposé discrimine des pratiques susceptibles d'être discutées à l'école primaire (cf. 5.4.4.2.). Par ailleurs, on s'autorise bien évidemment la possibilité de l'élargir "en temps réel" pour répondre aux besoins de formation où à une situation particulière.

Proposition d'un jeu de critères restreint

Plusieurs combinaisons de CS sont susceptibles de satisfaire à ces contraintes. Un jeu restreint opératoire régulièrement déployé et testé par le praticien-chercheur (chapitre 6) inclut :

- *primauté de l'expérience* : C'est un critère dont l'application paraît naturelle mais dont la vérification ne va pas toujours de soi²³⁸.
- *reproductibilité et robustesse de l'expérience* : Ces critères nous semblent à la fois peu connus des enseignants²³⁹ et très utiles pour la menée d'une D.I.

Le test de la reproductibilité permet typiquement de mettre en évidence un problème dans l'identification de paramètres pertinents ou la nécessité d'une documentation suffisamment précise suite à la comparaison de différents résultats expérimentaux. Elle évite aussi les situations où l'enseignant ayant à disposition un seul résultat qui ne lui "convient" pas se sent autorisé à violer la primauté de l'expérience pour donner *ex cathedra* le "bon" résultat.

Le test de la robustesse d'une expérience permet de s'assurer de l'identification de paramètres pertinents, ouvre le champ à de nouvelles découvertes et enrichit la démarche d'investigation.

- *recul et exploitation du spectre de généralité* :

L'appropriation de la distinction entre représentations et monde physique est à la base de la compréhension de ce que signifie modéliser en science. Or il s'avère que cette compétence pose de nombreuses difficultés aux élèves alors qu'il est possible de travailler cette compétence dès la maternelle (chapitre 7.).

237. Un témoignage parmi d'autres : « Au début, j'ai pensé que c'était intéressant de connaître les critères de scientificité pour moi-même car c'était une vision des sciences que je n'avais pas auparavant. Et je ne pensais pas m'en servir beaucoup pour les cours car cela me semblait un peu complexe. Cependant en restant un peu plus sur mon atelier avec les élèves, nous avons été beaucoup plus dans le détail, pour expérimenter et pour les guider dans leur démarche, je me suis servi des critères finalement, en partie du moins. », Annexe 6.R., enseignante 4.

238. Le stéréotype du professeur de physique ratant ses expériences et s'appuyant sur les résultats qu'elles "auraient dû donner" pour faire avancer son cours est par ailleurs suffisamment présent chez les enseignants du primaire pour qu'ils soient tentés de faire de même.

239. Une enquête réalisée par l'institut français de l'éducation en 2011 montre que pour 59% des enseignants de physique dans le secondaire, faire une expérience n'implique pas qu'elle soit réalisée plusieurs fois. Institut Français de l'éducation. *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. Rapport d'enquête IFE - ENS de Lyon*, décembre 2011, p. 112.

Il en est de même du travail permettant aux élèves de se situer entre général et particulier. La navigation entre le général et le particulier peut aider les enseignants et leurs élèves à prendre conscience de l'étendue de la généralité de leurs propos et leur rappeler qu'induire une généralité d'un cas particulier n'est pas une pratique recevable.

Ce jeu discrimine toutes les pratiques séculières testées dans la section 5.4. (et au total 9 des 14 pratiques archétypales sondées).

Remarque : ce "jeu de base" est susceptible d'être aménagé et enrichi à la faveur des interactions ayant lieu au cours des formations ou de l'apparition de situations favorables à l'introduction d'autres critères de scientificité (e.g. intégrité, cohérence lexicale...).

5.6. Définitions *bottom-up* de la science scolaire

On se propose de dériver des définitions de la science scolaire à partir des jeux de critères de scientificité précédemment formulés (5.6.1.). On en dégage ensuite les conséquences didactiques (5.6.2.).

5.6.1. CONSTRUCTION DES DEFINITIONS

Un critère de scientificité individuel n'a *a priori* pas vocation à définir la science. Sa vérification est en effet une condition nécessaire *mais non suffisante* pour qu'une production puisse être considérée comme scientifique (cf. 5.5.1.2.).

L'hypothèse supplémentaire du caractère *exhaustif* d'un jeu donné de critères de scientificité lui confère en revanche un statut de condition suffisante. Un jeu exhaustif et explicite de critères de scientificité constitue donc un ensemble de conditions nécessaires *et* suffisantes pour juger de la scientificité d'une production donnée. Il est alors formellement équivalent à une définition implicite de la science. Si la formulation de ces critères est adaptée, il est par surcroît possible d'en dériver une définition explicite.

6.1.1. Principe de construction

Dans une approche pragmatique adaptée à des "êtres humains limités", selon la formule de William Wimsatt,²⁴⁰ on peut considérer la science comme une méthode particulière pour résoudre des problèmes dans le respect de contraintes spécifiques (cf. Partie 2, § 3.1.2.7.).

Dans la mesure où ces contraintes spécifiques de cette méthode peuvent être exprimées sous la forme d'un jeu de CS explicites, une définition de la science peut être directement dérivée de ces derniers, sous la forme générale :

Définition 0 : La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle que [ensemble des contraintes de scientificité d'un jeu de CS réputé exhaustif].

La possibilité de complexifier la définition en augmentant le nombre de critères dans le jeu réputé exhaustif découle immédiatement de ce principe de construction.

Remarque 1 : Si la formulation des critères est adaptée, ce qui était l'un des objectifs de ceux énoncés, dans la section 5.3. une formulation possible d'une définition de la science dérive immédiatement de celle du ou des critères afférents.

Remarque 2 : À partir d'un même jeu de CS, il est possible de dériver des formulations de la définition la science légèrement distinctes mais ayant le même sens.

240. William Wimsatt, *Re-engineering Philosophy for Limited Beings*, éd. Harvard University Press, 2007.

6.1.2. Exemples de définitions de la science scolaire

Jeux réduit à un seul CS

Le plus souvent, dans le cas-limite d'un jeu exhaustif de CS réduit à un unique critère (alors supposé nécessaire et suffisant), une définition dérivée peut se contenter de reprendre les termes exacts de la formulation de ce critère.

Ainsi, dans le cas de la reproductibilité de l'expérience :

De la formulation du critère de reproductibilité :

Le résultat d'une expérience ne dépend pas de l'observateur ; son énoncé peut être testé par n'importe quel observateur présent.

dérive immédiatement celle de la définition 1 (Reproductibilité) :

La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle que le résultat d'une expérience ne dépend pas de l'observateur et que son énoncé peut être testé par n'importe quel observateur présent.

De même, dans le cas du recul :

De la formulation du critère de recul :

Des marqueurs d'une distinction entre le monde physique et ses représentations sont identifiables.

dérive immédiatement celle de la définition 2 (Recul) :

La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle que des marqueurs d'une distinction entre le monde physique et ses représentations sont identifiables.

Dans certains cas, la paraphrase peut apparaître souhaitable. Ainsi, si l'on admet que la primauté de l'expérience est une condition nécessaire et suffisante de la scientificité d'une pratique :

De la formulation du critère de primauté de l'expérience :

Les conclusions ne contredisent aucun fait d'expérience.

on peut dériver soit la définition 3.1 (Primauté de l'expérience)

La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle que les conclusions ne contredisent aucun fait d'expérience.

soit la définition 3.2. (Primauté de l'expérience)

La science est une méthode pour résoudre des problèmes en donnant la primauté à l'expérience en cas de conflit.

Remarque : En l'occurrence, cette formulation dérive du nom du critère, qui le résume efficacement.

Jeux de deux CS

Dans le cas d'un jeu de critères exhaustif composé de deux CS, on construit une définition de la science en juxtaposant les contraintes explicitées dans la formulation de chacun des deux critères.

Ainsi, si l'on admet que la combinaison des deux critères précédents, Primauté de l'expérience et Recul, constitue un jeu exhaustif de critères de scientificité, on dérive aisément des précédentes la définition 4 :

Définition 4 (Primauté de l'expérience + Recul)

La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle que des marqueurs d'une distinction entre le monde physique et ses représentations sont identifiables, en donnant la primauté à l'expérience en cas de conflit.

En choisissant la primauté et la reproductibilité de l'expérience :

Définition 5 (Primauté de l'expérience + reproductibilité)

La science est une méthode pour résoudre des problèmes en donnant la primauté à l'expérience en cas de conflit, et dont le résultat d'une expérience ne dépend pas de l'observateur et dont l'énoncé peut être testé par n'importe quel observateur présent.

Ou encore, en choisissant la primauté de l'expérience et l'exploitation du spectre de généralité :

Définition 6 (Primauté de l'expérience + Exploitation du spectre de généralité)

La science est une méthode pour résoudre des problèmes en donnant la primauté à l'expérience en cas de conflit et telle que des marqueurs d'une navigation entre le général et le particulier sont identifiables.

Jeux de trois CS et plus

Le mécanisme de juxtaposition des contraintes se généralise sans difficulté à un nombre quelconque de CS.

Par exemple, en choisissant la primauté et la reproductibilité de l'expérience ainsi que le recul :

Définition 7 (Primauté de l'expérience + reproductibilité + recul)

La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle que des marqueurs d'une distinction entre le monde physique et ses représentations sont identifiables ; en donnant la primauté à l'expérience en cas de conflit ; dont le résultat d'une expérience ne dépend pas de l'observateur et dont son énoncé peut être testé par n'importe quel observateur présent.

Limites de l'outil

Une conséquence directe du principe de construction des définitions de la science scolaire est que plus le nombre de CS devient important, moins sa formulation est aisée à manipuler.

Par exemple, avec un jeu de 5 CS primauté, reproductibilité et robustesse de l'expérience, recul et exploitation du spectre de généralité :

Définition 8 (Primauté de l'expérience + reproductibilité + robustesse + recul + exploitation du spectre de généralité)

La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle que des marqueurs d'une distinction entre le monde physique et ses représentations et des marqueurs d'une navigation entre le général et le particulier sont identifiables ; en donnant la primauté de l'expérience en cas de conflit ; dont le résultat d'une expérience ne dépend pas de l'observateur, n'est pas dramatiquement modifié suite à une modification mineure de l'expérience et dont l'énoncé peut être testé par n'importe quel observateur présent.

Cette définition apparaît déjà peu "tractable", et trop longue pour être utilisable par des élèves du primaire. Elle apparaît *a fortiori* bien trop lourde en poussant le procédé jusqu'au bout et en considérant les 21 critères :

Définition 9

La science est une méthode pour résoudre des problèmes telle qu'aucune mauvaise pratique n'est identifiable ; que des marqueurs d'une distinction entre le monde physique et ses représentations et des marqueurs d'une navigation entre le général et le particulier sont identifiables ; qui vise à acquérir ou à éprouver des connaissances spécifiques ; dont le résultat d'une expérience ne dépend pas de l'observateur et dont énoncé peut être testé par n'importe quel observateur présent et pour laquelle les résultats ne sont pas dramatiquement modifiés suite à une modification mineure de l'expérience ; en donnant la primauté de l'expérience ; en communiquant formellement les résultats ; en explicitant dans la documentation tous les éléments potentiellement significatifs d'une expérience ou d'une observation et dont seuls les éléments significatifs ou potentiellement significatifs sont présents dans la documentation ; telle que le discours ou la représentation n'inclut pas d'éléments contradictoires entre eux, n'entre pas gratuitement en contradiction avec le corpus accepté, véhicule des connaissances spécifiques ; que tous les termes y ont une définition univoque et que tous les symboles y sont employés de façon univoque ; que la portée du discours est explicitement limitée ; qu'aucune incohérence logique n'est identifiable et qu'il n'est jamais fait appel à l'argument d'autorité ; que l'énoncé des lois est univoque ; que l'introduction dans l'énoncé d'une loi d'un paramètre présumé non pertinent ne modifie pas dramatiquement les comportements prédits et que seuls des éléments significatifs ou potentiellement significatifs sont présents dans son énoncé.

S'il s'avère aisé de dériver des définitions de la science scolaire à partir d'un jeu de critères de scientificité, leur opérationnalité dépend du nombre de CS choisis : dès qu'on dépasse 5 à 6 critères, la définition associée devient peu opératoire.

5.6.2. CONSEQUENCES DIDACTIQUES

6.2.1. Définitions glissantes

Une conséquence immédiate de la possibilité pour un enseignant de choisir le jeu de CS sur lequel il souhaite travailler est le caractère arbitraire des définitions de la science qu'on peut en dériver. Un corollaire pour les élèves est la possibilité d'être confrontés à des définitions différentes au cours de leur scolarité. Les définitions de la science utilisées à l'école apparaissent donc provisoires, glissantes et arbitraires.

Des attributs “dans l’ordre des choses”

Une définition provisoire et glissante ne pose *a priori* de problème ni aux enseignants, ni aux élèves.

À l’école, les enseignants ont en effet l’habitude d’adapter les contraintes imposées aux élèves à la capacité de ces derniers à se les approprier. Ils les font évoluer pour être de plus en plus exigeants à mesure que les élèves progressent. S’appuyer sur des définitions glissantes et provisoires revient pour l’enseignant à considérer l’enseignement des sciences comme susceptible d’être travaillé en bâtissant une progression dans l’acquisition des éléments méthodologiques²⁴¹.

De leur côté, les élèves s’attendent à ce que, comme tous ceux qui l’ont précédé sans doute, l’enseignant complexifie les règles du jeu au fur et à mesure qu’ils se les approprient et en augmente progressivement les contraintes.

Un caractère arbitraire acceptable pour les élèves

Le caractère arbitraire d’une définition de la science scolaire n’est pas plus problématique. Pour un élève de l’école primaire, rarement impliqué dans les choix pédagogiques qui le concernent, tout enseignement scolaire relève d’un certain arbitraire²⁴².

Pendant les cours de sciences, des élèves peuvent ainsi revenir sur leurs premières démarches et identifier les points méthodologiques qu’ils pourraient améliorer au regard des nouvelles contraintes qu’ils se sont appropriés. L’enseignant peut guider les élèves dans leur analyse des démarches réalisées et les aider à prendre conscience de leur évolution. Ainsi, *au début* de leur scolarité, il suffisait de vérifier deux contraintes pour que la démarche soit valable. *Maintenant*, il faut vérifier des contraintes supplémentaires pour valider la démarche (et il manque ceci et cela pour que la démarche soit valide au regard des contraintes respectées désormais). *Plus tard*, d’autres contraintes se rajouteront sans doute.

Ce qui importe en revanche pour l’élève, c’est la perception d’une cohérence dans la série de ses apprentissages. Une modification du jeu de contraintes qui n’intègre plus dans le jeu certains CS travaillés antérieurement (e.g. primauté de l’expérience, reproductibilité pour l’un, primauté de l’expérience, recul et robustesse pour l’autre) pourrait donc le perturber. On peut concevoir que des élèves habitués à vérifier le respect d’une contrainte soient surpris de sa disparition et en discutent avec leur enseignant : la solution la plus naturelle est alors d’intégrer cette contrainte au jeu posé.

Il ne viendrait toutefois pas à l’idée d’un enseignant de changer complètement les règles du jeu à chaque fois que les élèves commencent une nouvelle D.I. ou de valider ce qui ne l’était pas la fois précédente : la coexistence de définitions contradictoires, si elle est possible en théorie, ne l’est donc pas *a priori* en pratique.

241. Les programmes de l’école primaire fournissent des progressions dans toutes les disciplines, la plupart de temps en termes de contenus plutôt qu’en termes de méthodologie. On trouve cependant pour les mathématiques une progression méthodologique de la maternelle à la fin de l’école primaire puis une articulation entre les méthodes utilisées en primaire et au collège. Voir le site de l’académie de Nancy-Metz : <http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/maths/m2002/institut/programmes/programmes.html#ecole> (consulté août 2014)

242. C’est l’enseignant qui décide de ce que l’élève doit apprendre, qui fixe les contraintes qu’il doit respecter et les objectifs de sa formation. Par ailleurs, les élèves sont rarement conscients qu’il existe un programme scolaire.

Un arbitraire décomplexant pour les enseignants ?

La possibilité donnée aux enseignants de choisir le jeu de CS avec lequel ils vont travailler peut convaincre les plus “timides” d’entre eux de leur capacité à faire des sciences, en commençant à leur rythme, avec les critères qui leur paraissent les plus accessibles. Par ailleurs, rien n’empêche un enseignant d’ajouter de nouveaux critères au fur et à mesure qu’il s’aguerrit (ou que ses élèves s’aguerrissent...); ou que plus généralement les circonstances y deviennent favorables.

Par exemple, la non contradiction externe ne fait pas partie des CS que le meneur de jeu a choisi. Des élèves obtiennent des résultats en contradiction avec une conclusion précédemment établie et s’en satisfont. Il lui revient d’expliciter la nécessité de non contradiction externe quand on fait des sciences.

D’une certaine façon, l’arbitraire même du choix du jeu de CS qu’il travaille peut présenter pour l’enseignant un côté décomplexant vis-à-vis de l’enseignement des sciences.

6.2.2. Définitions exclusives

Pour les enseignants, une légitimation des pratiques scolaires

Plutôt que de “mal faire”, certains enseignants, conscients des limites de leurs propres connaissances et de leurs pratiques potentielles, peuvent renoncer à faire des sciences avec leurs élèves, et ce d’autant plus qu’ils ne parviennent pas forcément à identifier en quoi consistent ces manquements à une pratique “idéalisée”.

À l’inverse, des enseignants peuvent oublier la nécessité des contraintes méthodologiques pour faire des sciences et se satisfaire de pratiques irrecevables au regard des critères dégagés. Le risque est alors d’un “tout se vaut, tout peut faire science”. Cette approche “indifférente” des sciences à l’école peut néanmoins susciter un sentiment de malaise chez certains enseignants bien conscients que “faire des sciences” suppose un minimum d’implication et de réflexion.

Dans les deux cas, une définition explicite de la science scolaire peut contribuer à dissiper le malaise des enseignants.

Alors que la compréhension d’aucun élément issu de la science professionnelle peut paraître à certains enseignants comme un objectif inaccessible à atteindre, celle d’un nombre limité de CS peut leur apparaître à leur portée. Une définition de la science scolaire, par le cadre qu’elle pose, explicite également le fait que “tout ne se vaut pas” et que faire des sciences, c’est respecter un certain nombre de contraintes méthodologiques.

Une telle approche peut alors permettre aux enseignants de jauger leurs pratiques de classe et et les rassurer sur leur capacité à faire de sciences à l’école, de façon légitime.

Pour les élèves, la possibilité d'une progression dans leur compréhension de la science

Faire des sciences à l'école consiste entre autres pour les élèves à s'approprier et à respecter systématiquement un jeu de règles. Pour l'enseignant il s'agit de le faire appliquer scrupuleusement.

Idéalement, les enseignants d'une école primaire, maternelle et élémentaire, peuvent se concerter et concevoir un enrichissement progressif de la définition de la science scolaire au fur et à mesure de la scolarité des élèves. Si, déjà à l'école maternelle, les élèves associent par exemple les activités scientifiques au fait de respecter la primauté de l'expérience, la reproductibilité et la robustesse,²⁴³ un enseignant de CP peut enrichir le jeu de CS et y ajouter le recul, puis un enseignant de CE1 un travail sur l'exhaustivité de la documentation etc.

Avec l'introduction progressive de 2 à 3 CS par an de la grande section au CM2 et des enseignants idéaux, on peut imaginer que des élèves soient capables dès la fin de l'école primaire de mener des démarches d'investigation respectueuses d'un nombre conséquent de critères de scientificité. Au lieu de la réduction habituelle à ce niveau du concept de science à sa simple association à celui d'expérience,²⁴⁴ il serait alors possible de développer une représentation de la science ancrée sur le respect d'éléments de méthodologie plus exigeants.

Pour les enseignants, un enjeu de formation

En pratique, ce type d'approche ambitieuse intégrée sur l'ensemble des classes primaires reste toutefois exceptionnel. Il apparaît donc plus probable que les enseignants choisissent indépendamment les critères sur lesquels ils travailleront, parmi un même jeu restreint de critères particulièrement "populaires".

En dépit d'une connaissance initiale limitée de la méthodologie scientifique par les enseignants,²⁴⁵ leur formation typique, aussi bien initiale que continue ne consacre toutefois pas à l'épistémologie et à la méthodologie scientifique un temps suffisant pour permettre l'appropriation de plus de quelques critères. Dans ces conditions, le jeu restreint de 5 critères proposés pour la formation des enseignants, autorise déjà une pratique scolaire relativement sophistiquée.

6.2.3. Expression implicite ou explicite des définitions

Aucune définition explicite de la science ne figure dans le programme scolaire français. Les enseignants étant libres de la définir ou pas, la plupart ne le font pas²⁴⁶. Il n'est donc pas surprenant que les élèves aient de leur côté des difficultés à définir la science.²⁴⁷

243. cf. chapitre 7 pour une étude détaillée des CS accessibles aux élèves de maternelle.

244. Les représentations de la science des élèves de primaire seront considérées plus en détail au chapitre 7 § 7.5.

245. cf. chapitre 2 § 2.1. et chapitre 6 § 6.2. pour une étude détaillée des représentations de la science des enseignants.

246. C'est ce qu'il ressort de nombreuses discussions informelles du praticien-chercheur avec des enseignants du primaire. Par ailleurs, des études réalisées dans des pays où le programme scolaire inclut l'appropriation par les élèves de caractéristiques de la science indiquent que les enseignants éprouvent des difficultés à mettre en œuvre cette partie du programme. N.G. Lederman, « Nature of

Néanmoins, même en l'absence d'une définition explicite, un accent placé sur des critères de scientificité explicites revient en quelque sorte à une définition implicite de la science. En effet, faire des sciences à l'école consiste alors à s'approprier et à respecter systématiquement un jeu de contraintes. Les élèves et les enseignants sont alors encouragés à en déduire que *ne sont pas des sciences, les pratiques qui ne respectent pas les contraintes posées en cours de science*. On aboutirait par contraposition à une définition de la science un peu plus sophistiquée que les représentations de la science que peuvent posséder aujourd'hui des élèves de fin de primaire.

Les critères de scientificité ont été construits de façon à permettre la mise en place de tests opératoires simples (cf. 5.2.2.1.). Il est alors aisé à la fois d'en dériver des questionnements méthodologiques explicites (e.g. pour la robustesse, « *a-t-on vérifié qu'une modification mineure des conditions de l'expérience ne modifie pas les résultats ?* ») et de les ritualiser dans la classe. Préciser explicitement que, si les tests ne sont pas vérifiés, on ne fait pas de science, est une manière simple d'expliciter les critères de scientificité.

Remarque : pour l'enseignant, c'est avant tout du jeu de critères posé pour la pratique de la classe qu'il dérive une définition de la science "en creux". La construction d'une définition de la science scolaire telle que nous les avons formulées plus haut, toujours possible, ne lui est en pratique que de peu d'intérêt s'il ne souhaite pas l'explicitier aux élèves — si ce n'est pour se convaincre lui-même de la légitimité de sa pratique.

Lorsque la notion de critère de scientificité n'est pas explicite, les contraintes méthodologiques que l'enseignant a choisi de travailler demeurent. Elles peuvent être implicites, lorsque l'enseignant se contente de d'assurer de leur vérification par les participants sans les formuler explicitement, ou explicites si l'enseignant choisit de les formuler explicitement pendant le travail. Il est difficile d'évaluer *a priori* l'impact de ces deux approches basées uniquement sur le respect d'un jeu de contraintes sur la représentation de la science des participants. Des études spécifiques sont nécessaires pour y répondre.

Science : Past, Present and Future », op. cit.

247. cf. chapitre 7 section 7.5. pour une étude des définitions spontanées de la science des élèves.

5.7. Implications épistémologiques et stratégiques

Au delà de ces considérations pratiques, l'approche *bottom-up* de la science soulève des questions d'ordre épistémologique. Quel est le statut de la (ou des) "science(s) scolaire(s)" ainsi définie(s) ? Cette approche locale par critères de scientificité encourt-elle, par opposition à une approche *top-down* supposément sans concessions, un reproche de réductionnisme ou d'empirisme naïf ?

5.7.1. LA SCIENCE SCOLAIRE COMME CULTURE SAVANTE

L'objet de cette section n'est pas de définir la science dans toute sa complexité, mais d'élucider le statut épistémologique de la science scolaire au regard aussi bien de ce qu'elle partage avec la "science des scientifiques"²⁴⁸ que de ce qui l'en distingue. L'approche du chapitre 2 (§ 2.2.2.5.) nous avait amené à considérer la science comme une culture savante particulière. Peut-on, de la même façon, envisager la science scolaire comme une culture savante ?

7.1.1. Subjectivités collectives enseignantes et objets culturels de la science scolaire

On a défini une culture savante comme un ensemble d'objets culturels répondant à des règles de sélection opératoires et consensuelles. Cet ensemble doit en outre reposer sur une subjectivité collective (S.C.) à la fois :

- robuste
- identifiée
- revendiquée

Il ne fait pas de doute que les enseignants participent à diverses subjectivités collectives susceptibles de se qualifier à cet égard. Ainsi, l'expérience même d'appartenir au corps enseignant est constitutif d'une S.C. particulièrement robuste. Ils se perçoivent comme enseignants et en tirent souvent une certaine fierté. Deux individus qui se rencontrent pour la première fois et se découvrent tous deux enseignants se reconnaissent comme membres de la grande communauté enseignante. Il ne fait guère de doute non plus qu'il existe des objets culturels caractéristiques de cette culture commune, comme les programmes scolaires, et qu'on pourrait dégager des règles pour la reconnaissance de leur institutionnalisation.

On peut donc considérer la culture enseignante, au sens le plus large, comme une culture savante. De même, on pourrait définir une culture savante moins large des enseignants du primaire. Pour autant, ces cultures savantes n'ont, du fait même de leur ampleur, rien de spécifiquement scientifique. En outre, si nombre de praticiens de la science scolaire participent plus largement de la culture enseignante, il serait abusif d'en déduire que cela suffit à constituer également la science scolaire en culture savante.

248. Dans cette section, le qualificatif de "scientifique", employé sans autre précision, renvoie à la science académique.

Pour envisager une éventuelle culture savante de la science scolaire, et le cas échéant la comparer à celle de la communauté scientifique proprement dite,²⁴⁹ il convient donc de considérer des cultures communes à des communautés plus restreintes d'enseignants *ayant effectivement vocation à enseigner les sciences*. Dans la mesure où l'enseignement des sciences ne constitue qu'une petite partie de l'enseignement des professeurs généralistes de l'école primaires, quand il passe par des enseignants spécialisés dans le secondaire, il semble en outre utile de distinguer ces deux cas.

Dans certains pays comme la Norvège ou le Japon, il existe deux mots distincts pour la science académique et la science telle qu'elle est pratiquée à l'école, ce qui induit des questionnements différents sur la distinction science/science scolaire.²⁵⁰

Une culture savante des sciences physiques du secondaire

Le cas de l'enseignement de la physique dans le secondaire (pour focaliser encore le propos²⁵¹) ne semble pas présenter de difficulté particulière.²⁵² On peut encore se convaincre aisément de l'existence d'une culture savante des sciences physiques du secondaire. En effet, les professeurs de physique-chimie constituent aussi une subjectivité collective robuste, identifiée et revendiquée — et même organisée au sein d'associations professionnelles bien connues comme l'UDPPC — munie de règles de sélection de ses objets culturels — e.g. leur présence dans les programmes scolaires, leur présence dans le monde 3 scientifique.

L'appartenance à cette culture savante des sciences physiques du secondaire n'est nullement exclusive de l'appartenance à la culture scientifique académique, tous les enseignants de physique-chimie du secondaire ayant reçu une formation scientifique universitaire, et bon nombre poursuivi des études de troisième cycle incluant, au moins, une initiation à la recherche. Une conséquence directe en est le fort recouvrement entre les parties accessibles des mondes 3 associés respectivement à la culture de la physique du secondaire et à celle de la physique académique, comme on l'analysera plus en détail en § 7.1.5.

Inversement, seule une minorité des membres de la communauté scientifique académique participe de cette culture de la science scolaire du secondaire, faute d'une quelconque expérience d'enseignement à ce niveau.²⁵³

249. En France, la question de la distinction science/science scolaire constitue un axe de réflexion important pour la communauté de la didactique. Voir par exemple *RDST*, numéro thématique *Sciences des scientifiques et sciences scolaires*, INRP, n°2, Christian Orange et Virginie Albe (coord.), 2010.

250. Edgar Jenkins : « *School Science : a questionable construct ?* », *Journal of Curriculum Studies*, 2007, vol. 39 (7), pp. 265-282.

251. On pourrait aisément adopter l'argumentaire aux enseignants de sciences de la vie, etc. ou encore l'élargir à l'ensemble des disciplines scientifiques.

252. Pour notre propos du moins. Une étude spécifiquement consacrée à l'épistémologie de la science scolaire du secondaire passerait sans doute par une analyse plus détaillée des différentes sous-cultures savantes impliquées, le rapport à la science — et aux S.C. afférentes — d'un PEGC exerçant en collège après une simple licence scientifique n'étant *a priori* pas le même que celui d'un agrégé ayant bénéficié d'une initiation à la recherche.

253. En toute rigueur, ils participent tous *a priori* de la subjectivité collective associée à une expérience commune d'anciens *élèves* des cours de sciences du secondaire. Mais pour robuste et éventuellement revendiquée que soit cette dernière, elle est distincte de la S.C. associée à une expérience d'enseignement et ne donne pas lieu à une culture savante.

7.1.2. Une culture savante introuvable chez les enseignants du primaire

L'identification, aux côtés de celle (généraliste) des enseignants du primaire, d'une culture savante de la science scolaire du primaire apparaît moins évidente.

D'un point de vue institutionnel, tous les enseignants se doivent d'enseigner les éléments scientifiques du programme. Si tel était vraiment leur expérience professionnelle commune, une subjectivité collective robuste et revendiquée en émergerait naturellement et pourrait conduire à celle d'une culture savante.

Cela semble d'ailleurs avoir été le cas par le passé, du temps des écoles normales primaires.²⁵⁴ On en retrouve la trace dans les évocations nostalgiques (quoique sans doute idéalisées) des "anciens" ou dans la littérature, comme chez Marcel Pagnol :

C'est pourquoi, pendant trois années, ils [*les élèves de l'école normale primaire*] dévoraient la science comme une nourriture précieuse dont leurs aïeuls avaient été privés : c'est pourquoi pendant les récréations, M. le directeur faisait le tour des salles de classe pour en chasser quelques trop bons élèves, et les condamner à jouer au ballon.

Marcel Pagnol, *La Gloire de mon père*²⁵⁵

Concrètement, cela ne semble toutefois pas être le cas aujourd'hui, de nombreux enseignants du primaire n'enseignant pas effectivement les sciences²⁵⁶ ou, pire, s'estimant incompetents pour cela.²⁵⁷

Non seulement il ne semble donc pas possible d'identifier une culture savante de la science scolaire dont participeraient l'essentiel des enseignants concernés, mais la subjectivité collective même qui pouvait la rendre possible en d'autres temps semble perdue.

Ce constat désabusé n'est évidemment pas général. Il reste des enseignants du primaire éminemment aussi compétents dans l'enseignement des sciences que des autres matières, que des communautés plus larges susceptibles de les regrouper.

254. Tous les enseignants y suivaient des cours de sciences pendant lesquels ils apprenaient à utiliser un matériel scientifique pédagogique adapté à l'école primaire, dans le cadre typiquement de l'enseignement des leçons de choses. Tous les enseignants du primaire considéraient comme de leur mission d'enseigner les sciences à leurs élèves, partageaient un même matériel pédagogique et se constituaient en conséquence en subjectivité collective robuste, identifiée et revendiquée. Celle-ci possédait des règles de sélection de ses objets culturels, par exemple leur présence dans les programmes et donnait donc lieu à une culture savante.

255. Marcel Pagnol, *La Gloire de mon père*, 1957 ; édition de Fallois, 2004, p. 36.

256. Il reste difficile d'avoir une idée exacte de la proportion des enseignants qui enseignent les sciences en respectant le programme officiel. Les inspecteurs de l'éducation nationale avec lesquels le praticien-chercheur a eu l'occasion d'aborder le sujet considèrent généralement que dans leur circonscription de nombreux enseignants n'enseignent pas, ou peu, ou mal les sciences. Par ailleurs, les enseignants sondés lors d'animations pédagogiques et de formation reconnaissent souvent faire peu ou pas de sciences en classe (i.e. ne pas respecter les programmes dans ce domaine).

257. Pour mémoire, Jean Salençon, alors Président de l'Académie des Sciences, se désolait en 2010 que près de la moitié des enseignants de cycle 3 s'estiment incompetents pour enseigner les sciences. Dans les Alpes-Maritimes, tous cycles confondus, on peut estimer à 80% la part des enseignants du primaire qui ne se considèrent pas suffisamment compétents lorsqu'il s'agit d'enseigner les sciences. cf. chapitre 2, § 2.1.

On peut ainsi, par exemple, identifier des *micro-cultures savantes* constituées autour de certains projets de promotion de la science à l'école, et en particulier de la démarche d'investigation :

- À l'échelle nationale française, on peut identifier une subjectivité collective robuste et revendiquée²⁵⁸ d'enseignants du primaire s'étant approprié l'approche de La Main à la Pâte. La culture commune afférente étant dotée de règles de sélection des objets culturels institutionnalisés dans ce cadre (e.g. le respect des 10 principes de La Main à la Pâte, la publication des séquences sur le site LaMAP), elle constitue de plein droit une (micro-)culture savante.

On peut estimer que celle-ci concerne plusieurs milliers d'enseignants, ainsi que des scientifiques prestigieux (Georges Charpak, Pierre Lénà, Yves Quéré) qui assurent sa reconnaissance, plus largement, par les instances ministérielles (les programmes de l'école primaire citant à plusieurs reprises "l'esprit de la Main à la Pâte") et scientifiques.

- À une échelle plus locale, on pourrait de même identifier une subjectivité collective robuste et revendiquée²⁵⁹ d'enseignants du primaire qui participent, par exemple, à des Jardins des sciences réguliers dans la circonscription de Mouans-Sartoux (Alpes-Maritimes).²⁶⁰ Cette culture locale de la science scolaire s'est constituée en 4 ans.²⁶¹ Elle apparaît robuste, autonome et revendiquée à cette échelle, respecte des règles de sélection des objets culturels (e.g. le respect de critères de scientificité énoncés en formation par le praticien-chercheur), et constitue donc également une micro-culture savante impliquant plusieurs dizaines d'enseignants²⁶².

258. Dont un marqueur est l'affirmation de l'implication dans les projets développés dans les centres ou sur le site de La Main à la Pâte.

259. Dans l'expérience du praticien-chercheur, des enseignants ayant participé à des Jardins des sciences dans la circonscription de Mouans-Sartoux se prévalaient longtemps par la suite de leur participation à de tels évènements et encourageaient leurs collègues à faire de même. Par ailleurs, au sein même de leurs écoles, de nombreux enseignants ont incité leurs collègues à participer à des formations afin de les rejoindre, ce qu'ils ont fait. Cette subjectivité collective présente donc, à l'échelle locale, un caractère viral.

260. La première année (2011), 12 enseignants et leurs classes ont animé le premier Jardin des sciences de la circonscription. L'année suivante, deux jardins des sciences ont eu lieu, et 29 classes en tout y ont participé. En 2013, deux jardins des sciences regroupant 38 classes au total ont été organisés sur Mouans-Sartoux et Peymeinade. L'année suivante (2014), le jardin des sciences de la circonscription a cédé la place à 5 Jardins des sciences organisés localement par les écoles et rassemblant au total 42 classes.

261. Avec le soutien bienveillant de l'inspection d'académie, cette micro-culture s'est installée en 4 années. L'I.E.N. de Mouans-Sartoux a ainsi proposé pendant 3 années consécutives un stage de formation d'une semaine à ses enseignants. En parallèle, les enseignants d'une commune limitrophe s'organisaient pour réaliser "leur" jardin des sciences et bénéficiaient d'une animation pédagogique dédié à l'organisation, avec le soutien de la commune.

262. Environ 50 enseignants participent aujourd'hui de la micro-culture savante jardin des sciences sur Mouans-Sartoux. Par ailleurs, le marché des sciences de Cagnes-sur-Mer fête ses 5 années d'existence en 2014 et accueille tous les ans une quinzaine de classes. Plus localement, l'école de Nice Flore et ses 8 enseignants organisent de même une cours des sciences depuis 2010. De nombreuses autres initiatives existent mais il reste difficile d'évaluer leur pérennité, les enseignants, une fois autonomes, ne renvoyant que rarement les informations relatives à leur manifestation. Les subjectivités collectives créées s'avèrent donc robustes pour le moment.

Il existe sans doute également une subjectivité collective assez robuste associée à l'expérience de l'enseignement en démarche d'investigation au primaire, partagée par un nombre plus important d'enseignants. Il n'est cependant pas évident que cette subjectivité collective s'identifie en tant que telle, et encore moins qu'elle se revendique comme subjectivité collective spécifique. Elle ne semble donc pouvoir être considérée comme une culture savante.

La science scolaire du secondaire constitue une culture savante et, de ce point de vue, peut être considérée comme de même nature épistémologique que la science académique. Les S.C. correspondantes ne se recouvrent pas cependant pas et l'existence de cette culture savante ne dit rien du recouvrement possible de son monde 3 avec celui de la science académique. En revanche, la science du primaire ne peut pas être considérée comme une culture savante. Elle ne peut guère alors être abordée que sous l'angle des S.C., c'est à dire soit de la psychologie, soit de la sociologie, soit de la didactique. On peut toutefois identifier des micro-cultures savantes du primaire, qui, elles, ont essentiellement le même statut épistémologiques que la science du secondaire.

7.1.3. Habitants des mondes 3 de la science scolaire

Sous les réserves évoquées en 7.1.2., ou sous l'hypothèse optimiste qu'elles pourraient être levées dans l'avenir, on admettra ici que la science scolaire [ou la composante que l'on en considère] pourrait constituer une culture savante, associée à un "monde 3 de la science scolaire" stable et raisonnablement consensuel. Quels en seraient alors les habitants ?

Science scolaire du secondaire

Par souci de simplicité, on traitera d'abord de la science scolaire du secondaire.

Les objets culturels institutionnalisés dans le Monde 3 de la science scolaire du secondaire sont essentiellement de trois sortes :

- des objets culturels proprement physiques, comme de nombreuses lois et théories scientifiques (e.g. la loi d'Ohm, la théorie maxwellienne de l'électromagnétisme, le modèle de l'atome de Bohr) ;
- des objets culturels spécifiquement liés à la pratique enseignante, comme les programmes, ou des concepts pédagogiques, comme la démarche d'investigation.
- des objets culturels relevant des sciences de l'homme et des sciences cognitives, comme les théories de l'apprentissage.

En revanche, n'y figurent pas *a priori* des objets dont l'intérêt historique justifie la présence dans le Monde 3 scientifique, mais sans intérêt pédagogique ou pratique ou scientifique actuel, comme :

- les théories et modèles les plus sophistiqués (e.g. le “modèle standard” en physique des particules²⁶³) ;
- des objets culturels obsolètes (e.g. théorie du phlogistique²⁶⁴) ou considérés comme fautifs (théorie des rayons N) ;
- des objets culturels relevant purement de la recherche, comme les normes de publication dans les revues scientifiques.

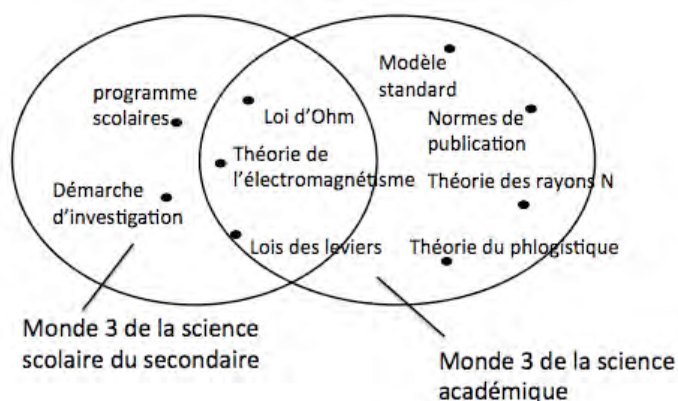


Figure 7.1.3.a. : Intersection des mondes 3 de la science et de la science scolaire du secondaire

Le Monde 3 scientifique et le Monde 3 de la science scolaire du secondaire sont donc distincts mais possèdent une intersection conséquente. On retrouve ici un écho de la construction des deux cultures savantes correspondantes à partir de subjectivités collectives très différentes, mais partagées par un nombre significatif (mais pas tous) d’individus partageant les deux expériences.²⁶⁵

Les règles de sélection permettant d’identifier les habitants du Monde 3 de la science scolaire du secondaire sont principalement²⁶⁶ de deux types :

- Hiérarchiques : Un objet culturel l’intègre de plein droit s’il en est ainsi décidé par l’institution scolaire.²⁶⁷ C’est typiquement le cas des programmes en tant que tels, mais également de tous les objets culturels qui y sont mentionnés. Ainsi, certains éléments des théories de la relativité générale ou de la mécanique quantique, longtemps exclues *a priori* du Monde 3 de la science secondaire au même titre et pour les mêmes raisons de difficulté technique que le modèle standard, l’ont

263. En physique théorique, le “modèle standard”, réputé très difficile, combine l’électrodynamique quantique et la chromodynamique quantique, elles-mêmes hors de portée de la plupart des enseignants du secondaire.

264. La théorie du phlogistique, développée au XVII^e siècle, tentait quant à elle d’expliquer la combustion par le déplacement d’un fluide calorique, ou « phlogistique ». Elle a été rendue obsolète par la compréhension du rôle de l’oxygène dans la combustion, et n’a plus qu’un intérêt historique.

265. Les notions de transposition didactique et de pratique sociale de référence (cf. 2.3.2.2.) permettent des analyses similaires à celle proposée ici, *via* la notion de culture savante.

266. On peut par ailleurs envisager des objets culturels émergeant de la communauté enseignante. Il s’agit toutefois *a priori* plutôt d’objets de basse généralité comme une séquence ou un T.P. classique.

267. A tout le moins pour un pays donné. Comme ils sont le plus souvent définis par des politiques, influencés par des théories de l’apprentissages parfois très différentes, les programmes scolaires peuvent conduire à l’intégration d’objets culturels très divers selon le pays (ou la période) considéré.

intégré lorsqu'une initiation à ces sujets a été introduite au programme de terminale S.

- Académiques : l'institutionnalisation d'un objet culturel par la communauté scientifique suffit à justifier son intégration éventuelle dès lors que la question se pose dans le monde 3 de la science scolaire du secondaire. Ainsi, la constance de la vitesse de la lumière est-elle acceptée sans discussion²⁶⁸ comme canonique du simple fait de son prestige dans la communauté scientifique.

Micro-cultures savantes du primaire

Si l'on suppose la science scolaire du primaire constituée en culture savante ou si l'on se limite à une micro-culture savante de la science scolaire du primaire, il est possible de procéder de la même façon qu'avec le secondaire et d'identifier le monde 3 qui leur est associé. Les règles de sélection, hiérarchiques et académiques, y sont en effet de même nature.

Leur monde 3 partage avec celui des cultures savantes scientifique et du secondaire des objets culturels, comme des lois et des théories scientifiques. Il partage également avec le monde 3 de la science scolaire du secondaire certains objets culturels qui n'appartiennent pas au monde 3 de la science, comme des programmes scolaires. Il possède également des objets culturels qui lui sont propres.

Les mondes 3 des micro-cultures se distinguent par la présence d'objets culturels qui relèvent de règles de sélection propres à ces micro-cultures.

Par exemple, la culture savante associée à La Main à la Pâte a pour objets culturels spécifiques les "10 principes de La Main à la Pâte", ainsi que des séquences mises à disposition sur le site.

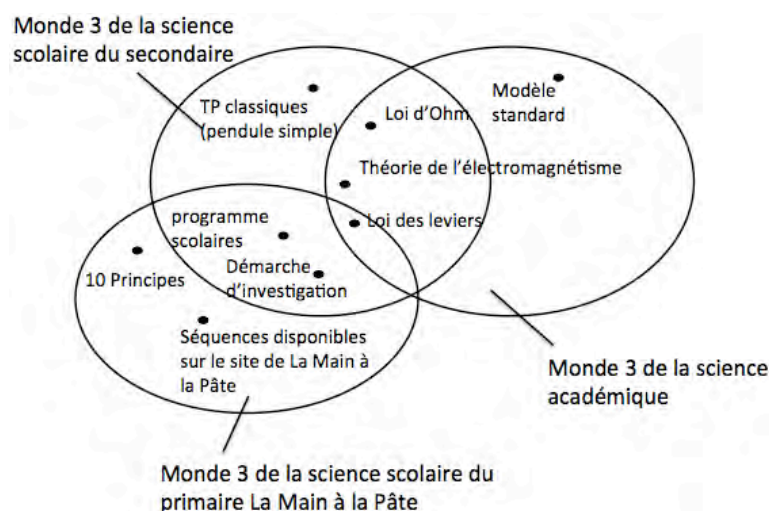


Figure 7.1.3.b. : Monde 3 de la science scolaire du primaire La Main à la Pâte

268. Alors même que, pour le physicien, il est souvent nécessaire de distinguer plusieurs types de vitesses de la lumière (de phase, de groupe, de signal, etc.), parmi lesquelles seules les vitesses de transport de l'énergie et de l'information sont contraintes par la théorie de la relativité restreinte, des vitesses de *groupe* supraluminiques étant banales. Voir par exemple L. Brillouin, *Wave Propagation and Group Velocity*, Academic Press, 1960.

De même, la culture savante du “Jardin des sciences” possède des objets culturels spécifiques, comme des ouvrages de littérature de jeunesse autour desquels des séquences de sciences ont été bâties,²⁶⁹ ou les critères de scientificité promus auprès des participants.

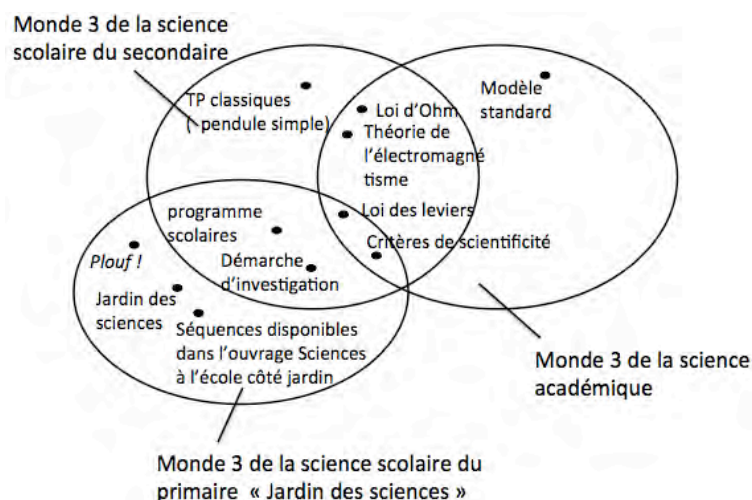


Figure 7.1.3.c. : Monde 3 associé à la micro-culture “Jardin des sciences”

Objets culturels de la science scolaire du primaire

On peut s’interroger plus généralement sur les objets culturels qu’intègrerait une culture savante de la science scolaire du primaire, si celle-ci était dûment constituée. La démarche d’investigation, recommandée par les programmes, en serait un objet culturel canonique, d’ailleurs partagé avec la science scolaire du secondaire. Son monde 3 pourrait également intégrer des concepts et des lois physiques simples, comme la loi des leviers ; des guides du maître et des manuels scolaires ; ou encore des séquences d’investigation classiques (figure 7.1.3.d.).

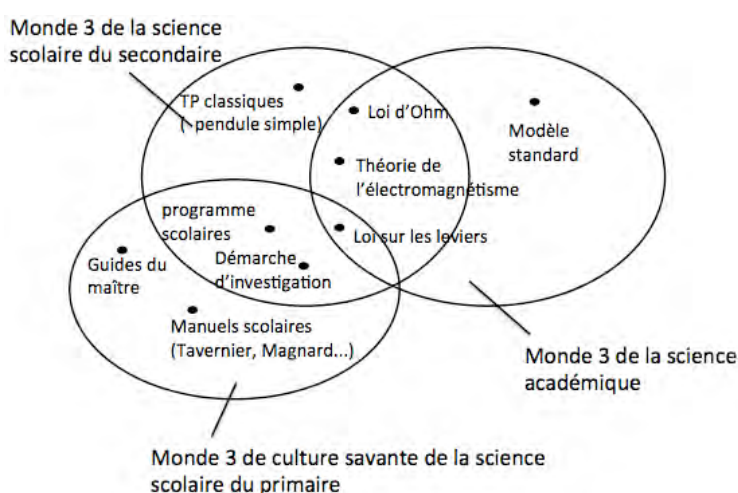


Figure 7.1.3.d. : Intersection du Monde 3 d’une hypothétique culture savante de la science scolaire du primaire avec ceux des sciences académique et du secondaire

269. Comme *Plouf !*, de Philippe Corentin, qui fait l’objet d’une séquence très populaire parmi les enseignants des Alpes-Maritimes (séquence M-11, annexe 2.A.).

Remarque : L'inclusion de l'intersection entre les mondes 3 de la science scolaire du primaire et de la science académique dans l'intersection entre ce dernier et celui de la science scolaire du secondaire dérive à la fois d'une construction en grande partie *top-down* des programmes scolaires par allègements successifs du contenu — qui génère un recouvrement des deux mondes 3 scolaires — et de l'origine sociologique de la subjectivité collective des enseignants du primaire — qui peut être un frein à un transfert direct d'objets culturels du monde 3 de la science académique à celui de la science scolaire du primaire

7.1.4. Monde 3 émergent vs. monde 3 “clef en main”

La plupart des objets culturels habitant le “monde 3 scientifique” (lois, modèles, etc.) sont des créations de sujets se revendiquant eux-mêmes comme membres de la communauté scientifique et participant en tout cas de la subjectivité collective afférente. De même, les règles de sélection de ces objets culturels émanent de cette même communauté, au sein de laquelle elles sont appliquées. Même si la construction du monde 3 scientifique fut un processus très lent, impliquant de nombreuses générations, on peut donc considérer qu'il a émergé de cette S.C.

Ce n'est pas le cas des mondes 3 associés à la science scolaire, ou aux différentes cultures savantes qui en participent. Comme on l'a vu, les règles de sélection de leurs habitants sont principalement *externes* : sont éligibles des objets culturels *existant déjà* dans les mondes 3 d'autres cultures savantes, physicienne (lois, théories physiques, etc.), didacticienne (théories de l'apprentissage, etc.) ou institutionnelle (programmes).

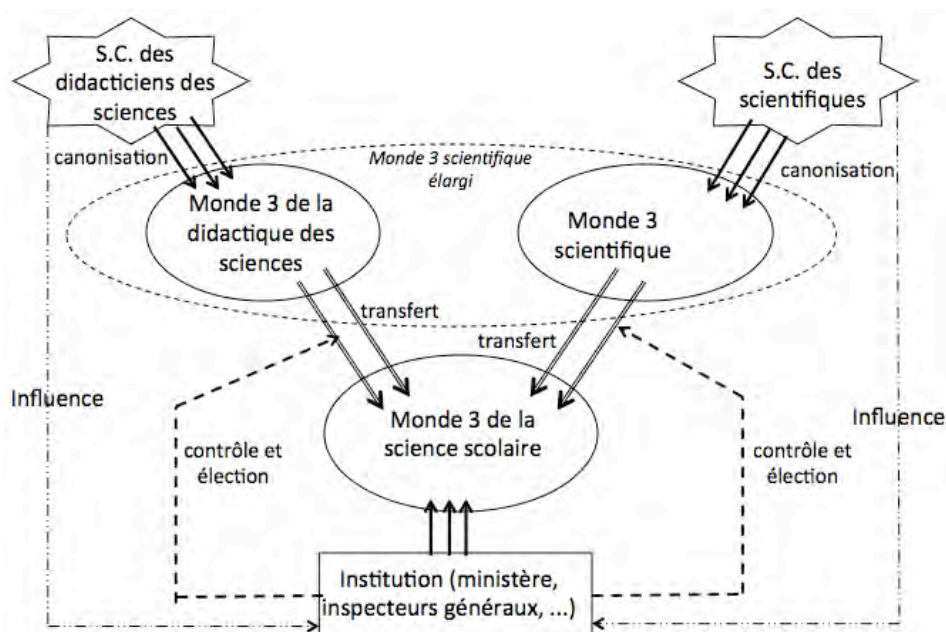


Figure 7.1.4. : Origine et modalités d'intégration d'habitants du Monde 3 de la science scolaire du primaire²⁷⁰

270. L'institution est à l'échelle de la collectivité politique pertinente.

Remarque 1 : Une approche plus intégrative considérerait un monde 3 scientifique "élargi" incluant la didactique des sciences ou la psychologie.²⁷¹ Dans un souci de clarté, on a ici distingué le monde 3 associé aux sciences couramment qualifiées de "dures" (physique, chimie, biologie, ...) et ceux associés à ces différentes disciplines.

Remarque 2 : Même lorsque les objets culturels d'une culture savante émergent de son sein même, cela ne signifie pas que chaque sujet participant de cette culture ait une activité créatrice à ce niveau. Ainsi, nombre de membres de la communauté scientifique, techniciens, ingénieurs et même chercheurs, se contentent comme les praticiens de la science scolaire d'utiliser les objets culturels développés par d'autres.

Dès lors qu'une subjectivité collective de la science scolaire primaire est identifiée et revendiquée, la science scolaire se constitue en culture savante, dont l'analyse n'est pas forcément très difficile, dans la mesure où elle emprunte l'essentiel à d'autres cultures savantes bien connues. Tout le problème est donc d'identifier, et le cas échéant, de créer, la subjectivité pertinente, et cela à suffisamment grande échelle.

7.1.5. Des critères de scientificité légitimés de l'extérieur

Il en va des critères de scientificité comme de la plupart des objets culturels abstraits du monde 3 de la science scolaire : lorsqu'ils existent en tant qu'objets culturels, ils sont empruntés "clefs en main" à l'extérieur de cette culture savante, à d'autres cultures savantes.

Compte tenu de la très grande diversité des CS envisagés par les épistémologues (cf. § 5.2.1.), leur sélection procède d'un certain arbitraire. Pour garantir la légitimité de ces choix, on rencontre en didactique des sciences deux stratégies principales :

— l'emprunt direct de CS à des cultures savantes non scolaires reconnues comme la culture savante des épistémologues.

Ainsi, N. Lederman extrait tout ses critères de scientificité de l'épistémologie, de la sociologie et de l'histoire des sciences ainsi que du monde 3 scientifique.²⁷² C'est également la stratégie que nous avons adopté dans ce travail (cf. § 5.2.2.)

Le choix des CS pertinents à l'école conserve toutefois un caractère arbitraire, et dépend de l'épistémologue et de la science scolaire qui y procède.

— l'élaboration par consensus d'experts d'un jeu de CS empruntés à des cultures savantes non scolaires.

Il s'agit d'une procédure indirecte, se voulant plus objective que la précédente. En dernière analyse, même pondéré par le nombre des experts

271. C'est en particulier ce que fait N. Lederman lorsqu'il cherche à caractériser la science de façon consensuelle. N. G. Lederman, F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell & R. Schwartz. « Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science ». *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 2002, pp. 497–521.

272. N. G. Lederman, F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell & R. Schwartz. « Views of nature of science questionnaire : Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science ». op. cit. Notons que R. Duschl lui reproche de ne pas prendre en compte également l'anthropologie des sciences... R. Duschl & R. Grandy. « Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science ». *Science and Education*, 22(9), 2013, pp. 2109–2139.

interrogés, l'arbitraire de chacun n'est pas moindre ; et le choix même de ces experts par le chercheur introduit une nouvelle source de subjectivité.

C'est typiquement l'approche suivie par l'équipe d'Osborne²⁷³ qui s'entoure de 23 experts (scientifiques, vulgarisateurs, historiens et sociologues des sciences, etc.) ou, en France, de La Main à la Pâte qui s'appuie sur des experts pour élaborer des notions clefs. cf. 2.3.3.2.1.

Remarque 1 : L'hypothèse que les CS empruntés sont déjà des objets culturels canoniques d'une autre culture savante implique l'existence de règles de sélection développées par cette autre culture ; leur adoption revient implicitement à emprunter également ces règles de sélection elles-mêmes.

Remarque 2 : Inversement, la simple affirmation par un auteur de ses propres critères de scientificité ne saurait en général en faire des habitants du monde 3 de la science scolaire. Cette opération suppose en effet l'existence de règles de sélection consensuelles, *a priori* absentes dans ce cas de figure.

5.7.2. SCIENTIFICITE DES PRATIQUES VS. SCIENTIFICITE DES CONNAISSANCES

Fabuleusement riche et diverse, paradoxale parfois, la science est tout à la fois une aventure collective et une somme de pratiques individuelles, une entreprise de création et d'augmentation du savoir humain à la pointe de la recherche et génératrice de basses besognes de laboratoire quotidiennes et répétitives. La considérer comme une culture savante, collective par essence, fondée sur une subjectivité collective (c'est-à-dire, en dernière analyse, sur un ensemble d'expériences personnelles partagées) permet dans une certaine mesure de prendre en compte cette diversité.

Celle-ci ressurgit néanmoins chaque fois qu'il est question de préciser les contours de la science, et *a fortiori* de définir explicitement un critère de scientificité — ou plutôt, un ensemble de critères de scientificité, la quête du CS unique et universel s'étant, on l'a vu, brisée sur cette difficulté. Même en supposant, dans l'idéal, un large consensus sur la nature de la science, on aboutira à des critères différents selon que l'on choisira de mettre l'accent sur son aspect collectif ou individuel. Le premier choix amène par exemple, dans les termes de Norman Lederman, à considérer la science « *comme un moyen d'accès à la connaissance, ou aux valeurs et croyances inhérentes à la connaissance scientifique et à son développement* »²⁷⁴ ; les critères de scientificité correspondants portent alors principalement sur le statut des connaissances, voire sur leur représentation par celui qui les manipule. Inversement, le second choix induit des critères portant d'abord sur la scientificité de pratiques individuelles (ou à l'échelle d'un petit groupe).

Les deux approches ne sont bien sûr pas mutuellement exclusives, et on peut *a priori* envisager des jeux de critères incluant des CS des deux types.

273. J. Osborne, S. Collins, M. Ratcliffe, R. Millar & R. Duschl. *What should we teach about science ? A Delphi study*. Londres, éd. King's College, 2001.

274. N. G Lederman. « Nature of Science : Past, Present and Future », *Handbook of Research on Science Education*, op. cit., p. 833.

7.2.1. Critères portant sur des connaissances et leur représentation

Des connaissances intrinsèquement scientifiques ?

Une vision archaïque de la science, assez répandue dans le grand public et volontiers promue, à leur propre bénéfice, par toutes sortes d'experts médiatiques, revient à considérer certaines connaissances — $E = mc^2$, la théorie de l'évolution — comme intrinsèquement scientifiques. D'autres — l'astrologie, les idées créationnistes — ne sauraient l'être, également par nature.

En pratique, les critères de scientificité (souvent spontanés et implicites) afférents relèvent soit de l'argument de pure d'autorité (telle connaissance est scientifique, parce qu'elle émane d'une présumée autorité "scientifique"), soit de la pétition de principe (...parce qu'elle relève d'un domaine réputé "scientifique").²⁷⁵

Il va de soi qu'une analyse aussi naïve ne saurait rendre compte de la réalité d'une science moderne qui s'est au contraire construite, au moins depuis Descartes, sur le doute et le refus de l'argument d'autorité.

L'un des paradoxes auxquels elle aboutit immédiatement est de reconnaître pour "scientifiques" des connaissances énoncées par un sujet qui ne les maîtrise pas lui-même, pas plus que leur origine ou leur nature.

Ainsi l'expression $E = mc^2$ est probablement l'une des équations les plus connues au monde, au point qu'elle est souvent utilisée comme archétype de la "formule" scientifique par excellence et détournée de mille et une façons. Quoique "juste", ou du moins amplement validée par la communauté scientifique dans le cadre de la relativité restreinte, elle est donc souvent employée dans d'autres contextes, humoristiques ou non, par des non-physiciens. Cette même "connaissance" pourra donc être tantôt scientifique pour celui qui la maîtrise et l'énonce en connaissance de cause, et tantôt non-scientifique dans la plupart des autres emplois.



Fig. 7.2.1. : Un exemple de détournement non scientifique de la formule d'Einstein

Prendre en compte le statut des connaissances

Pour éviter cet écueil, plusieurs auteurs, comme Norman Lederman²⁷⁶ ou William Sandoval,²⁷⁷ ont développé des approches de la nature de la science portant sur la scientificité, non pas directement des connaissances, mais du rapport qu'un sujet donné entretient avec une connaissance particulière.

275. Notons que les deux arguments se renforcent mutuellement, si l'on n'y prend garde, pour les connaissances relevant de la science scolaire, cautionnées en cours de "sciences" par l'autorité du maître ou du professeur, ainsi que par celle des programmes.

276. N. G. Lederman & al., « Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science ». op. cit.

277. W. A. Sandoval. « Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry ». *Science Education*, 89(5), 2005, pp. 634–656.

Une même connaissance peut alors être considérée comme scientifique chez un sujet et pas chez un autre, selon les *représentations* qu'ils s'en font respectivement.

D'autre part, on sait qu'une même personne peut avoir des représentations différentes de différentes connaissances, et un rapport scientifique à certains concepts, non scientifique à d'autres. Il est ainsi courant qu'un physicien d'une parfaite rigueur intellectuelle dans sa discipline ait au regard de la santé une posture passionnelle de patient, non scientifique. Pour rendre compte de cette difficulté, Bachelard a développé la notion de *profil épistémologique*, valable pour un concept et une personne donnés.²⁷⁸

Un exemple de CS portant sur des connaissances : la science selon Lederman

Le jeu de critères formulé par Norman Lederman²⁷⁹ porte explicitement sur des connaissances :

La connaissance scientifique :

- (a) est provisoire (susceptible d'être modifiée)
- (b) est fondée sur une base empirique (elle est basée sur et/ou dérivée d'observations du monde naturel)
- (c) est subjective (elle implique des biais, des antécédents personnels et/ou dérive de choix théoriques [*theory-laden*])
- (d) implique des déductions (inference), l'imagination et la créativité d'êtres humains (elle implique l'invention d'explications)
- (e) est enracinée socialement et culturellement.

Deux aspects additionnels importants sont :

- (f) la distinction entre observations et inférences
- (g) la distinction entre les théories scientifiques et les lois.

On peut souligner sa grande généralité. La pertinence de ces critères ne se limite pas à la physique ou aux sciences "dures", et peut s'étendre aux connaissances relevant des sciences humaines et sociales, pourvu que celles-ci soient fondées sur une base empirique.

Pour reprendre les archétypes de la section § 5.4, la scientificité de l'astrologie et des rayons N dépendrait selon ces critères du statut empirique que l'on peut ou non reconnaître aux "observations" correspondantes (critère (b)) ; l'ombrellologie et l'activité du garagiste ne seraient pas reconnues pour scientifiques, dans la mesure où elles ne font pas appel à l'imagination (d) ; en revanche, les connaissances d'un vulgarisateur idéal le seraient, que son point de vue soit interne ou externe.

7.2.2. Empirisme naïf et autres dérives

La mise en œuvre de critères de scientificité portant sur des *pratiques* locales lève la plupart des difficultés liées à la scientificité des *connaissances*, mais n'est pas sans en soulever de nouvelles. En particulier, mettre l'accent sur la primauté de l'expérience suscite chez de nombreux didacticiens un questionnement sur la place de la théorie. Ainsi Jean-Yves Cariou souligne-t-il l'existence chez les

278. G. Bachelard, *La Philosophie du non*, 1940, p. 11, éd. PUF, 2008. Pour plus de détails voir chapitre 6, § 6.2.1.1.

279. N.G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », *Handbook of Research on Science Education*, op. cit., p. 833.

enseignants d'une épistémologie de nature *empiriste* et *inductiviste*, que les didacticiens tentent de modifier.²⁸⁰

Empirisme naïf

De fait, il s'avère que pour de nombreux enseignants du primaire, la science se réduit à la mise en place d'expériences (25% des participants de notre étude²⁸¹). Ces enseignants expriment donc spontanément une version très naïve de la primauté de l'expérience, sans référence aucune à un éventuel contexte théorique. Cette approche strictement (et naïvement) empiriste peut s'exprimer en termes de CS, dont certains peuvent être identiques à ceux portant sur l'expérience parmi l'ensemble proposé en 5.3.2.

L'emploi de critères portant exclusivement sur l'expérience est donc susceptible, dans ce contexte, de renforcer leur vision empiriste naïve. Par exemple, les critères de *reproductibilité* et d'*exhaustivité de la documentation* peuvent être vérifiés en dehors de toute référence explicite à un discours théorique. Le danger d'une dérive empiriste naïve existe donc. En conséquence, une vigilance toute particulière s'impose dans le choix du jeu de critères de scientificité et de leur formulation, afin d'éviter d'encourager une représentation naïve de la science.

Inductivisme exclusif

Une autre dérive possible concerne le renforcement d'une représentation purement inductiviste de la science. Il s'avère en effet que bon nombre des enseignants du primaire ont une représentation de la science qui se réduit à faire des expériences pour *vérifier des hypothèses* ou prouver quelque chose (18% des participants de notre étude, cf. chapitre 6, § 6.2.2.1.1).

Si cette représentation est légèrement plus sophistiquée que la précédente, dans la mesure où un discours est présent, elle reste très naïve et à dominante inductiviste. Une lecture naïve de la démarche d'investigation est également susceptible d'encourager une telle perception strictement inductiviste de la science, la D.I. mettant souvent un accent exclusif sur le test et la validation d'hypothèses par l'expérience, à l'exclusion en particulier d'une approche hypothético-déductive.²⁸²

L'emploi de critères s'intéressant uniquement à la formulation de lois pourrait alors encourager cette dérive inductiviste en laissant croire, implicitement, que les lois naissent de l'expérience et en omettant le fait qu'il n'existe que peu d'expériences qui ne soient empruntées de préjugés ou d'une théorisation préalable. Encore une fois, une vigilance toute particulière s'impose dans la formulation des critères de scientificité et le choix du jeu de CS afin d'éviter de prêter le flanc à un empirisme naïf ou à l'inductivisme.

280. J.-Y. Cariou. « Histoire des démarches en sciences et épistémologie scolaire ». *RDST*, 2011, n°3, pp. 83–105.

281. cf. chapitre 6, § 6.2.2.1.1. Les résultats de la section 6.2.1.4. du chapitre 6 confirment par ailleurs que la représentation de la science de plus de la moitié des participants enseignants ou futurs enseignants du primaire à cette étude est à dominante empiriste (64%).

282. J.-Y. Cariou. « Histoire des démarches en sciences et épistémologie scolaire », op. cit., p. 83.

Une autre dérive souvent associée à une mauvaise compréhension de l'approche empirique est la revendication hyperbolique de sa pertinence exclusive dans tous les domaines. Justifiée en partie, historiquement, par les tendances globalisantes et, dans une certaine mesure, intégristes d'Auguste Comte lui-même, à la fin de sa vie,²⁸³ une telle inquiétude n'a pas lieu d'être à l'école primaire : les enseignants ne s'y considèrent en effet pas plus comme des épistémologues que comme des scientifiques, et il ne leur viendrait pas à l'idée d'imposer les critères de scientificité de la science scolaire à d'autres disciplines (ni même d'ailleurs à la physique elle-même...).

7.2.3. Critères portant sur des pratiques et empirisme rationnel

Une vision un tant soit peu sophistiquée de la nature de la science moderne permet toutefois d'esquiver ces écueils, y compris en s'en tenant à des CS basés sur les pratiques. En effet, plusieurs de ceux-ci disqualifient, au moins dans les formulations proposées en 5.3., une pratique exclusivement expérimentale. Ainsi :

- La *primauté de l'expérience* ne s'applique que dans la mesure où il existe un *discours* auquel confronter l'expérience.²⁸⁴ Il ne s'agit donc pas de donner la primauté à l'expérience au sens où l'expérience serait première, mais bien de donner la primauté à l'expérience en cas de contradiction entre celle-ci et un discours.
- Le critère *d'exploitation du spectre de généralité* suppose une largeur finie de celui-ci, donc un dépassement du cas particulier d'une expérience donnée.
- Le critère de *recul* encourage la navigation entre le monde physique et ses représentations et disqualifie toute pratique qui ne prendrait pas en compte la distinction entre les deux.
- Le critère de *robustesse* implique pour sa part un recours minimal à la modélisation puisque son test nécessite l'identification des paramètres pertinents et de ceux supposés indifférents pour une expérience.

De même, excluent une approche strictement inductive, à l'exclusion de la déduction :

- Le critère *d'exploitation du spectre de généralité*, qui encourage la navigation entre général et particulier — c'est à dire un aller-retour, inductif puis déductif, ou inversement. Il exclut donc une approche purement empirique.
- La vérification du critère de *robustesse*, qui encourage par ailleurs la mise en place de procédures hypothético-déductives puisque il est nécessaire de prévoir le résultat d'une modification d'un paramètre sur le résultat d'une expérience pour le confronter à l'expérience.

283. Auguste Comte. *Catéchisme positiviste* (1852) ; Paris, édition du Sandre, 2009.

284. Pour mémoire : « *Les conclusions ne contredisent aucun fait d'expérience* ».

Il suffit donc de prendre en compte au moins l'un de ces deux derniers critères pour se garantir des dérives naïves envisagées plus haut.

5.7.3. APPROCHE TOP-DOWN

La transition entre la science académique, “de haut niveau”, et la science scolaire peut s'aborder de deux points de vue :

- de “haut en bas” c'est à dire en partant de la science des scientifiques (ou de la conception qu'on en a) pour “redescendre” ensuite vers l'école primaire. On parlera alors d'approche *top-down*, ou *descendante*.
- de “bas en haut”, en partant des pratiques réelles dans les classes (ou de celles qu'on pourrait y envisager de façon plausible) et en remontant vers une définition plus générale de la science. C'est l'approche *bottom-up*, ou *ascendante*.

Nous verrons que ces approches complémentaires induisent par ailleurs des stratégies différentes de promotion des visions correspondantes de la science.

7.3.1. Un projet ambitieux, des difficultés pratiques

Même en s'en tenant aux seuls travaux des didacticiens, il existe une multitude d'implémentations de l'approche *top-down*.²⁸⁵ Deux des plus caractéristiques sont celles de Norman Lederman et de Richard Duschl qui ont directement influencé la conception des standards américains : *National Science Education Standards* de 1996 (pour N. Lederman), puis *Next Generation Science Standards* (NGSS, 2013 ; pour le même et R. Duschl).

Par principe, son point de départ étant une vision supposément claire et cohérente de la nature de la “science des scientifiques”, l'approche *top-down* se heurte de front aux difficultés relatives à la définition de celle-ci.²⁸⁶

Périmètre de la science

Une première difficulté est donc la détermination du périmètre de la science, et par suite de celui de la “communauté scientifique” et de la culture savante correspondante. Le fait même d'explicitier une frontière entre “science” et “non science” peut alors susciter des polémiques. La plupart des auteurs choisissent donc de s'en abstenir, ce qui revient à définir un champ scientifique incluant non seulement la physique et les sciences dites “dures”, mais également, souvent, les sciences humaines et sociales.

Un corollaire en termes de critères de scientificité est la préférence accordée à des formulations transversales et d'une grande généralité, applicables dans des connaissances ou des pratiques variées issues de disciplines très différentes.

285. Voir à ce sujet la revue de littérature de Norman Lederman. N. G. Lederman. « Nature of Science : Past, Present and Future ». *Handbook of Research on Science Education*, op. cit.

286. Voir § 2.3.1.

D'autres éléments peuvent peser sur la détermination du point de départ d'une approche *top-down* de la science scolaire.

En premier lieu, la langue même dans laquelle elle s'exprime peut induire des différences assez significatives. Dans certaines langues, comme le norvégien ou le japonais,²⁸⁷ le concept même de science est distribué entre plusieurs termes, certains convenant mieux à la science scolaires, d'autres à celle des chercheurs. D'autre part, un terme neutre et univoque dans une langue peut s'avérer ambigu, voire péjoratif ou polémique dans une autre.

Ainsi, le mot |théorie|, essentiellement technique en français, ne rend-il pas compte des connotations anglaises de |theory|. Il y a, au delà de son sens dans un contexte scientifique, le sens d'*opinion*, avec une connotation péjorative (e.g. "Untel avait sa propre théorie sur la meilleure façon de planter les choux").

Ce deuxième sens étant bien plus prégnant dans la culture anglo-saxonne qu'en France, la confusion des deux sens peut porter sérieusement atteinte à la compréhension du fait que les connaissances scientifiques sont *theory-laden*. Elle fournit également des arguments aux climato-sceptiques ou aux tenants du créationnisme pour affaiblir la fiabilité de théories scientifiques ramenées à la simple expression d'opinions polémiques.²⁸⁸

Une vision défensive de la science

D'autre part, des enjeux culturels nationaux peuvent également influencer le choix des critères choisis. Ainsi, dans un contexte américain où la théorie de l'évolution de Darwin est fortement remise en cause par les tenants du créationnisme, tout comme le réchauffement climatique, des didacticiens peuvent considérer qu'il leur revient de promouvoir auprès des jeunes esprits une vision moins idéologique de la science. La compréhension de ce qu'est une théorie ou un modèle et la distinction entre lois, modèles et théories deviennent alors des apprentissages cruciaux pour les prémunir contre des arguments ressassés. On peut alors concevoir que des critères de scientificité puissent être choisis afin de contrer les arguments proposés par les détracteurs de ces théories et permettre aux élèves de développer un regard critique sur ces arguments.

7.3.2. Une approche heuristique (Lederman)

Pour Norman Lederman, la science est par nature « *un moyen de connaître le monde* ».²⁸⁹ Il s'appuie donc sur des CS portant sur les connaissances pour définir sa nature. Il admet qu'il existe des critères de scientificité sur lesquels les épistémologues, historiens et sociologues des sciences s'accordent, même s'il reste des points de divergence. Il fait alors le choix délibéré de les reformuler à un niveau de généralité tel qu'ils échappent aux controverses²⁹⁰. Il sélectionne

287. Edgar Jenkins : « *School Science : a questionable construct ?* », *Journal of Curriculum Studies*, 2007, vol. 39 (7), pp. 265-282.

288. Voir par exemple : T. Ghose, « "Just a Theory : 7 misused science words" », *Scientific American*, 2 avril 2013. Accessible en ligne : <http://www.scientificamerican.com/article/just-a-theory-7-misused-science-words/> (consulté septembre 2014)

289. N. G. Lederman. « *Nature of Science : Past, Present and Future* ». *Handbook of Research on Science Education*, op. cit. p. 833.

290. Lederman, N. G. & al. (2002). *Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science*. op. cit., p. 499.

ensuite parmi ces derniers ceux qui lui paraissent susceptibles d'être accessibles aux lycéens.

Des critères globaux

Dans cette approche la science est alors définie par un ensemble de *valeurs* partagées par la communauté scientifique au sens large. Les critères de scientificité promus par Lederman sont réputés susceptibles d'être appliqués à n'importe quel type de connaissance scientifique, indépendamment de l'âge des élèves et de la discipline considérée.

Ce jeu de CS de N. Lederman présente en outre un caractère heuristique marqué, puisqu'il s'agit de considérer les connaissances scientifiques d'un point de vue dynamique, dans leur devenir possible ("les connaissances sont provisoires") à l'échelle de l'élève individuel comme à celle de la communauté. Ainsi, Richard Duschl et Richard Grandy les qualifient-ils de « principes heuristiques basés sur le consensus » (*Consensus-based Heuristic Principles*²⁹¹).

L'universalité au risque de la dilution

Cet ensemble de CS revendique un caractère universel qui les rend pertinents pour tous les individus, qu'ils soient chercheurs de haute volée ou lycéens.

Une difficulté que suscite cette approche réside dans l'adaptation des CS aux classes du primaire, les contraintes initiales ayant été conçues au regard de la science professionnelle et les formulations choisies pour être accessibles à des lycéens. Ces critères de scientificité très généraux peuvent en effet nécessiter, pour être compris, un niveau de sophistication langagière significatif.

Ainsi la contrainte « d'enracinement social et culturel » fait-elle appel à des concepts eux-mêmes aussi abstraits (culture, société) et, dans une certaine mesure, polysémiques que celui de science.

Au primaire, une dilution du sens

Si l'on souhaite les utiliser avec des individus dont la maîtrise du langage (ou le développement cognitif) est limité comme de jeunes enfants, on est conduit à adapter la formulation des critères de scientificité initialement conçus pour des lycéens à un niveau accessible pour ce public. Il peut alors s'avérer délicat voire impossible d'adapter à tous les niveaux de langage des critères portant sur les connaissances.

C'est ce qu'entreprend Valarie Akerson qui va jusqu'à adapter les expressions des critères de N. Lederman pour des élèves de maternelle. Elle échoue toutefois à conserver le sens des valeurs auxquelles elle ne touche pas et laissent la porte ouverte à des interprétations très larges de ce qu'une connaissance doit être pour se qualifier comme "scientifique"²⁹². Les valeurs sont alors conservées au prix de la dilution de leur sens et de leur caractère discriminant.

Par exemple, le critère de N. Lederman « La connaissance scientifiques est subjective (elle implique des biais, des antécédents personnels et/ou dérive de choix théoriques [*theory-laden*] » devient, adapté à l'intention d'élèves de primaire (K1-K2) : « Les

291. R. Duschl & R. Grandy. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139.

292. cf. partie 2, § 3.3.2.2.

*scientifiques sont des gens qui ont leur propre savoirs de base et leurs propres perspectives théoriques. Quand ils font des observations ils "voient" (comme tout le monde) les informations à la lumière de leurs perspectives personnelles. »*²⁹³

On peut s'interroger sur ce qu'un enfant de 7 ans peut retenir de la notion de "perspective théorique". Mais surtout, le critère ainsi reformulé perd toute capacité discriminante et se réduit à l'affirmation que les scientifiques sont "comme tout le monde".

A cette difficulté de formulation de critères adaptés à de (très) jeunes élèves s'ajoute celle de caractériser leur propre représentation des connaissances concernées, *via* un discours lui-même encore en cours d'acquisition. consistant à formuler des discours sur des connaissances.

Il s'agit alors d'identifier un niveau de réponse que l'on juge satisfaisant au regard du niveau de maîtrise de la langue (de développement cognitif) considéré. Valarie Akerson propose ainsi des exemples de réponses considérées comme acceptables au regard des CS proposés.

Ainsi, la réponse « *les scientifiques utilisent les idées des autres pour améliorer leurs inventions* » est considérée comme adéquate pour des élèves de CP-CE1, pour rendre compte de leur perception du caractère provisoire des connaissances scientifiques.²⁹⁴

De telles formules sont souvent trop peu discriminantes pour conserver un caractère opératoire.

Ainsi, une maman cuisinière "utilise les idées des autres" pour améliorer ses inventions culinaires

Test des critères et profils personnels

Une autre difficulté consiste à élaborer des tests opératoires pour ces CS portant sur des représentations des connaissances. Leur identification pour un sujet donné implique en effet inévitablement une part d'interprétation et donc de subjectivité. Il s'avère nécessaire de développer des outils d'analyse et de calibrage. N. Lederman propose en conséquence des tests standardisés, les tests VNOS (pour "*vues de la nature de la science*")²⁹⁵. Il en existe différentes variétés, adaptées à des publics différents (enfants du primaire, lycéens, étudiants, professeurs de sciences du secondaire...). Ces questionnaires à réponses ouvertes proposent à la fois des questions générales portant sur la façon dont la science se construit (e.g. « *À votre avis, qu'est-ce que la science ? Y-a-t-il une différence entre une théorie scientifique et une loi scientifique ?* ») et des questions relatives à des connaissances spécifiques (e.g. l'extinction des dinosaures ou les modèles d'un atome).

Pour chaque CS, deux niveaux de compréhension sont distingués (e.g. représentation naïve ou informée, *naïve or informed views*) et des exemples de réponses appartenant aux différents niveaux de compréhension des CS sont fournis pour le calibrage. En effet l'identification de ces représentations nécessite selon lui un certain savoir-faire et un apprentissage du sens donné à certains

293. Valarie L. Akerson et al. « Evidence-based Strategies for Teaching Nature of Science to Young Children ». *Journal of Kirsehir Education Faculty*, op. cit., p. 69.

294. Valarie Akerson & Lisa A. Donelli. « Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain ? ». *IJSE*, op. cit., p. 108.

295. N. G. Lederman et al. « Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science ». *JRST*, op. cit., p. 499.

mots-clefs et à certaines phrases par les participants. Des entretiens peuvent contribuer à les éclaircir.²⁹⁶

Enfin, s'ajoute la dépendance possible des réponses aux connaissances sondées. On sait en effet depuis Bachelard que des connaissances différentes peuvent induire des représentations différentes de la connaissance scientifique. Or à notre connaissance, N. Lederman et son équipe n'intègrent pas cet élément dans leur analyse. Ils constatent souvent lorsqu'ils proposent que les réponses à plusieurs questions testant un même CS ne sont pas cohérentes entre elles. Les réponses d'élucidation posées en cours d'entretien confirment souvent d'après N. Lederman une représentation de la connaissance scientifique qui manque de cohérence. Ces participants sont alors catégorisés comme ayant une vision naïve de la science au regard du CS exploré.²⁹⁷

Indépendamment de cette difficulté, l'existence de questionnaires standardisés avec des connaissances spécifiques déterminées permet toutefois une comparaison tenant compte de la répartition des participants sur différents profils.

D'un point de vue pratique, l'identification des représentations des connaissances, et donc la mise en place des CS de Lederman, fait appel à une certaine expertise et nécessite des moyens relativement lourds.²⁹⁸

7.3.3. Approche valorisant les modèles (Duschl)

L'approche de Richard Duschl s'appuie quant à elle sur une vision de la nature de la science basée sur la notion de modèle, ou plus précisément sur « *la construction et l'amélioration de pratiques scientifiques basées sur des modèles* » (*Building and Refining Model-Based Scientific Practices*).²⁹⁹ Son approche repose alors implicitement sur des CS pratiques mais avec une forte composante transversale et donc d'une grande généralité.

Cette approche est typiquement celle suivie dans les *Next Generation Science Standards*³⁰⁰. Comme dans l'approche de N. Lederman, un jeu de 8 pratiques très générales est identifié.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Les investigations scientifiques déploient une grande variété de méthodes2. La connaissance scientifique est fondée sur des preuves empiriques3. La connaissance scientifique est ouverte à des révisions à la lumière de nouvelles preuves4. Le rôle des modèles, des lois, des mécanismes, et des théories scientifiques est d'expliquer les phénomènes naturels |
|--|

296. Afin d'éviter une mauvaise compréhension du vocabulaire employé par les participants. Lederman, N. G. & al. (2002). Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. op. cit.

297. Lederman, N. G. & al. (2002). Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. op. cit.

298. Lederman préconise des entretiens post-questionnaire de tous les participants pour un chercheur débutant et de 15-20% d'entre eux pour un chercheur expert.

299. R. Duschl & R. Grandy. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139.

300. *Next Generation Science Standards*, op. cit., Appendice F portant sur les pratiques des scientifiques et des ingénieurs.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">5. La science est un moyen d'accéder à la connaissance6. La connaissance scientifique repose sur l'hypothèse qu'un ordre et une cohérence sous-tendent les systèmes naturels7. La science est un accomplissement humain8. La science tente de répondre à des questions sur le monde naturel et matériel |
|--|

“Descendre” jusqu’à l’école primaire

Chacune de ces pratiques est ensuite subdivisée en une sous-liste de pratiques plus explicites dont les attentes varient en nombre et en difficulté avec l'âge des élèves. Il n'y a ainsi pas moins de 36 pratiques distinctes identifiées pour les élèves de CE1 et 47 pour des lycéens en Terminale.

D'un point de vue pratique, une telle approche ne nécessite pas au contraire de la précédente de compétences sophistiquées pour l'analyse de la scientificité des productions des élèves. En revanche, elle peut devenir rapidement ingérable si l'on tient compte de l'ensemble des pratiques exprimées.

7.3.4. Stratégies d'implémentation

Lederman comme Duschl considèrent implicitement qu'il existe une culture savante établie et bien identifiée de la science scolaire. Pour faire passer leurs critères de scientificité dans le monde 3 de la science scolaire, leur stratégie commune est d'influencer non pas les enseignants individuels mais les rédacteurs des programmes officiels en prise directe avec l'ensemble de cette population. Les règles de sélection institutionnelles sont en effet un moteur puissant pour l'intégration dans le monde 3 de la science scolaire d'objets culturels ayant reçu cet *imprimatur* officiel.

Cette stratégie semble donc pertinente pour la science scolaire du secondaire. Il semble clair que, dans le cas de ces deux éminents didacticiens, cette stratégie a effectivement abouti à la prise en compte par les programmes américains de la nécessité de permettre aux élèves de se construire une première vision de la nature de la science, et de ses méthodes. On peut toutefois noter une certaine instabilité en ce qui concerne ces éléments épistémologiques, les nuances entre plusieurs approches concurrentes ayant pu induire des luttes d'influence assez sévères et des arbitrages politiques difficiles.

Faute d'études à une échelle suffisante, il est en revanche trop tôt pour évaluer son efficacité réelle auprès des élèves et de leurs enseignants.

Stratégie d'implémentation dans le primaire

La même stratégie a été mise en œuvre aux États-Unis pour l'école primaire, et les programmes américains étendent désormais cette approche à l'école primaire. Pour autant, l'hypothèse de disponibilité d'une culture savante de la science scolaire, on l'a vu, ne vaut pas automatiquement à ce niveau, où l'on n'a pu identifier que des *micro-cultures* savantes. Même en admettant qu'il pourrait exister une culture savante bien identifiée de la science scolaire du primaire, la plupart des professeurs des écoles actuels n'y participeraient pas. On peut donc douter de leur capacité à s'approprier, et *a fortiori* à mettre en pratique ces nouveaux programmes.

Une faiblesse majeure des principales stratégies d'implémentation *top-down* de telle ou telle vision de la science scolaire à l'école primaire est par conséquent qu'elles ne semblent pas prévoir de voie d'accès efficace³⁰¹ à cette culture savante pour les — nombreux — enseignants qui ne participent pas de la subjectivité collective afférente.

À cette difficulté théorique s'ajoutent, dans le cas de N.L. Lederman les difficultés techniques et sémantiques liées à la reformulation de critères de scientificité d'une grande généralité pour les mettre à la portée d'enfants de l'école élémentaire, et *a fortiori* de l'école maternelle.

5.7.4. APPROCHE *BOTTOM-UP* DE LA NATURE DE LA SCIENCE

À l'inverse de l'approche *top-down*, l'approche *bottom-up* part des pratiques réelles dans les classes (ou de celles qu'on pourrait y envisager de façon plausible), qu'on associe chacune à un ou plusieurs éléments de scientificité, pour ensuite remonter vers une vision plus générale de la science.

7.4.1. Stratégie d'implémentation d'une approche *bottom-up*

Le point de départ d'une approche *bottom-up* de la science scolaire est donc une subjectivité collective partagée entre tous les enseignants ayant l'expérience de l'une de ces pratiques dans leurs classes ou (plus souvent) lors de formations spécifiques. La stratégie consiste alors, d'une part, à renforcer la composante épistémologique de cette S.C., par exemple en explicitant les critères qui permettent de qualifier leur pratique de scientifique ; et d'autre part à l'élargir progressivement, ou plutôt à faire accéder les enseignants, par une série de S.C. gigognes, à une subjectivité collective impliquant une vision opératoire de la science scolaire.

Elle peut donc prendre en compte très naturellement le fait que de nombreux enseignants du primaire ne participent pas initialement à la culture savante de la science scolaire du primaire.

Prendre appui sur la formation professionnelle

Partir des pratiques des enseignants pour faire évoluer leur vision de la nature de la science suppose un effort de la part de ces derniers pour confronter ces pratiques aux éléments épistémologiques qu'on se propose de leur fournir. Si rien n'interdit *a priori* qu'il s'agisse d'un travail personnel, par exemple à partir de textes ou de présentations en ligne, l'expérience commune suggère que la proportion d'enseignants susceptibles de s'y engager sérieusement pourrait être assez limitée — voire ne concerner que ceux qui en auraient le moins besoin.

Une stratégie plus efficace semble être de profiter des moments de formation professionnelle des enseignants, initiale ou permanente, pour accompagner cette confrontation.

301. Dans cette stratégie institutionnelle, *via* les programmes. Nous ne préjugeons pas ici de l'efficacité de la formation directe d'enseignants du primaire par les équipes de didacticiens évoquées ; mais, par construction, celles-ci opèrent à une échelle beaucoup plus réduite.

Inséminer des micro-cultures virales

Une stratégie complémentaire consiste à provoquer la nucléation de nouvelles micro-cultures savantes, intégrant dès l'origine ces éléments épistémologiques parmi leurs objets culturels canoniques, et à laisser de nouveaux enseignants venir s'y agréger spontanément.

Un tel objectif peut être atteint par la mise en place d'événements festifs et valorisants pour les enseignants qui y participent, comme les "Jardins des sciences". Une fois le noyau initial créé lors d'une formation traditionnelle, le succès de l'événement et le désir de le pérenniser permet, avec la complicité de la hiérarchie (IEN) et un accompagnement des formateurs (décroissant au fil des éditions) d'étendre cette micro-culture à la plupart des enseignants d'une circonscription.

Approches bottom-up basées sur des CS

Il est possible d'envisager des approches *bottom-up* de la nature de la science basées sur des critères de scientificité³⁰² portant sur des connaissances aussi bien que sur des pratiques.

Cette possibilité a été démontrée par l'exemple au début de ce chapitre (§ 5.3) : nous y renvoyons le lecteur pour le cas des critères portant sur des pratiques.

Celui de CS portant sur des connaissances ne pose pas plus de problèmes de principe. Ainsi, si l'on admet la possibilité de reformuler des critères issus d'une approche *top-down* à l'usage des enfants du primaire, comme le propose par exemple Valarie Ackerson,³⁰³ on pourrait partir de la version la plus minimaliste de cette vision de la science, c'est-à-dire de la formulation d'un seul de ses critères adaptée aux enfants de maternelle, pour "remonter" progressivement, à mesure qu'ils grandissent et gagnent en maturité, vers des visions de plus en plus sophistiquées, d'une part en adaptant les formulations de ces critères au niveau des enfants, et d'autre part en introduisant de nouveaux CS, jusqu'au jeu complet dans sa formulation la plus générale.

On pourrait typiquement commencer à travailler sur la nature empirique de la connaissance scientifique, avant d'introduire son aspect provisoire puis le fait qu'une connaissance scientifique implique une part de créativité et d'imagination etc.

7.4.2. Limites de l'approche *bottom-up*

Des stratégies essentiellement locales

Si la prise en compte des pratiques effectives des enseignants favorise une forme de proximité, voire de complicité avec les formateurs, la rançon de cette approche *bottom-up* est le caractère essentiellement local de son implémentation. Son échelle naturelle est celle du rayon d'influence d'un formateur individuel ou

302. Ou d'ailleurs sur d'autres objets épistémologiques. Ainsi, on pourrait imaginer une approche de la nature de la science basée, plutôt que sur des CS, sur une série de *définitions-gigognes* de la science, comme celle esquissée au § 5.6.1.2.

303. En pratique, ces reformulations s'avèrent problématiques, cf. § 5.7.3.2.

d'un groupe cohérent de formateurs, de quelques étudiants à l'échelle d'une Inspection Académique, soit au plus quelques milliers d'enseignants.³⁰⁴

La dépasser pour envisager une action à l'échelle nationale supposerait une coordination des formateurs à cette échelle, et donc une démarche elle aussi nationale. Les stratégies à mettre en œuvre seraient alors de même nature politique que celles envisagées dans le cas de l'approche *top-down*, à commencer par celles visant à influencer les programmes de l'école primaire.

Le risque d'une solution de continuité

Un problème que rencontre l'approche *bottom-up* est celui de "remonter" des pratiques de classe vers la science des scientifiques.

La querelle des épistémologues autour de la question d'un critère de scientificité universel se ramène, en grande partie, à la difficulté de prendre en compte les moments de pure création, donc des phases de découverte, et *a fortiori* de révolution scientifique au sens de Kuhn. Dans ce contexte, pour reprendre la célèbre formule de Feyerabend, "*anything goes*". La recherche scientifique pratiquée dans les laboratoires est, dans toute sa diversité, irréductible à une liste de pratiques ou de connaissances.

Elle est *a fortiori* moins réductible encore à une liste de pratiques *observables dans un contexte scolaire*. Basée sur de telles pratiques, l'approche *bottom-up* de la nature de la science scolaire renonce donc d'entrée à saisir toute la complexité de la science des scientifiques, et en particulier à décrire la recherche scientifique en marche. Elle introduit donc une solution de continuité entre la science scolaire et celle des scientifiques, ce qui en constitue une limite intrinsèque.

Une telle solution de continuité, potentiellement problématique au lycée, ne constitue toutefois pas un inconvénient significatif à l'école primaire (et sans doute guère plus au collège). Pour donner néanmoins aux élèves une idée de ce qu'est la science, telle que la pratiquent les professionnels, il apparaît nécessaire de compléter la démarche *bottom-up* avec des éléments qui n'en relèvent pas (comme, le cas échéant, des critères de scientificité issus d'une approche *top-down*).

Une nature de la science disciplinaire

Une autre difficulté liée à l'approche *bottom-up* fondée sur des pratiques réside dans le caractère disciplinaire des pratiques considérées — délibérément associées à la physique dans notre cas. Même si les CS développés s'avèrent, pour la plupart, de pertinence largement transdisciplinaire, cette transversalité n'apparaît pas spontanément comme une caractéristique de la science.

304. L'ouvrage *Sciences à l'école, le guide pratique de l'enseignant* (Annexe 2.A.) a été diffusé, avec l'aide de l'ESPE et de l'Inspection Académique, à plus de 2000 enseignants des Alpes-Maritimes.

Addendum 5

Les mauvaises pratiques au sens de Babbage

Les enseignants de sciences anglo-saxons sont souvent plus sensibles que leurs collègues français à la notion de “mauvaise pratique” (*malpractice*), contre laquelle ils mettent en garde leurs étudiants, en plus de tenter de leur inculquer de “bonnes pratiques” scientifiques. Au-delà des fraudes et des entorses délibérées à l'intégrité, ces mauvaises pratiques peuvent être involontaires, voire inconscientes. Elles concernent alors tout particulièrement le traitement et la publication des données expérimentales.

Cette tradition remonte en grande partie à Charles Babbage, l'un des premiers à avoir développé, dès 1830,¹ une typologie des mauvaises pratiques. L'anglais les désigne sous le terme générique de “fraudes” (*fraud*), dans un sens plus large que l'acception française.

Babbage distinguait quatre types de mauvaises pratiques, intentionnelles ou non :

- le Faux (*forging*) consiste à rapporter des données qu'on a purement et simplement inventées, en totalité ou en partie ; ou même de prétendues expériences, observations ou découvertes qui n'ont jamais été réalisées. Cette catégorie correspond à des fraudes caractérisées dans l'acception française du terme.
- le Canular (*hoaxing*) est similaire au Faux, mais son intention est différente. Alors que le faussaire cherche à ne jamais être découvert, l'auteur d'un canular prévoit *a priori* de le dévoiler après un temps, souvent pour ridiculiser ceux qui y auront cru. Notons que l'intention peut évoluer au fil du temps, un canular qu'on avait initialement l'intention de révéler le moment venu se transformant en faux lorsque son auteur renonce à l'assumer. Un exemple classique est celui de “l'homme de Piltdown”.²

Les deux dernières catégories concernent explicitement le traitement des données lorsqu'on y procède en violation de l'exhaustivité de la documentation et de la primauté de l'expérience :

- le Rabotage (*trimming*) consiste à éliminer, de part et d'autre de la valeur moyenne, des données “extrêmes” pour faire paraître les mesures réalisées plus précises et pertinentes.

1. Charles Babbage. *Reflections on the Decline of Science in England*, 1830. Accessible en ligne sur le site du projet Gutenberg (consulté août 2014) : <http://www.gutenberg.org/files/1216/1216-h/1216-h.htm>

2. En 1913, le jeune Pierre Teilhard de Chardin, participant avec un fameux paléontologue, le Pr. Woodward, à une expédition visant à découvrir les restes du supposé “chaînon manquant” entre le singe et l'homme, “découvrit” opportunément des fragments de crâne répondant idéalement aux attentes du scientifique — mais dont on sait aujourd'hui qu'ils avaient été prélevés dans une collection. Aussitôt proclamée, la découverte fit grand bruit et suscita une intense polémique. Même si le faux était sans doute, à l'origine, un simple canular, le faussaire ne l'avoua jamais formellement, probablement du fait des proportions inattendues prises par l'affaire et du coup que l'aveu aurait alors porté au prestige de Woodward. Voir par ex. Stephen Jay Gould. « L'Affaire de l'homme de Piltdown », in *Le Pouce du panda - les grandes énigmes de l'évolution*, Paris, Bernard Grasset, 1982.

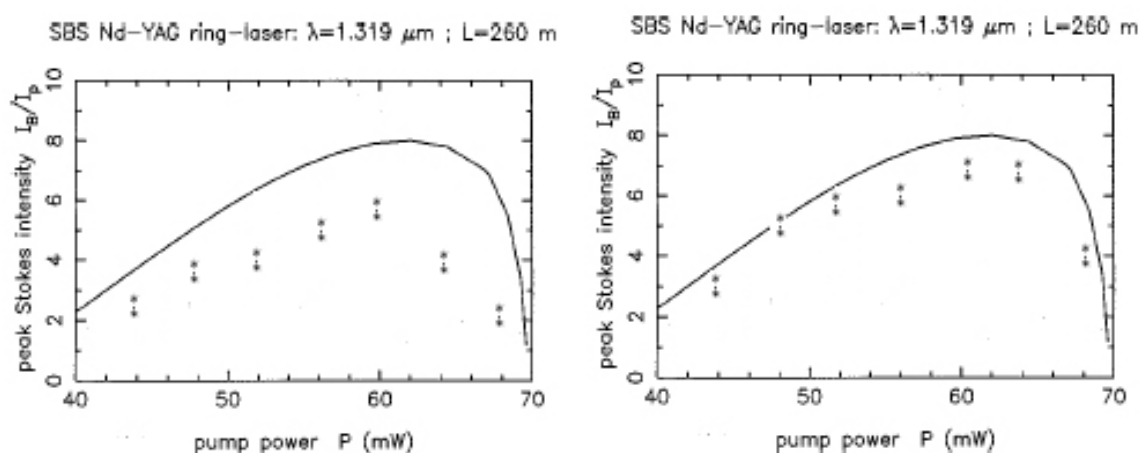
— la Réduction (*cooking*) consiste à ne retenir que les résultats qui concordent avec la théorie et à rejeter les autres.

Notons que l'élimination de données non pertinentes, qui revient à une forme de rabotage de bonne foi, est souvent une nécessité pratique.³ Mais, même très prudente et aussi bien justifiée que possible, elle n'est jamais sans risque. La réduction, elle, est souvent soit inconsciente, soit de mauvaise foi.

Une illustration moderne

On peut illustrer ces mauvaises pratiques en les appliquant à des données effectivement publiées dans une revue d'optique prestigieuse. L'article comparait le comportement non linéaire d'un laser tel que prédit par une simulation numérique (courbe pleine) et des données expérimentales.

Si l'on procède à un rabotage judicieux (Figure 1a), l'expérience artificiellement améliorée paraît satisfaisante, le composant stable et son comportement en bon accord qualitatif avec la théorie (courbes expérimentales et théoriques pratiquement parallèles) ; le désaccord quantitatif suggère un paramètre mal ajusté *dans le modèle*. On aurait également pu choisir de procéder à une réduction bien menée des mêmes données expérimentales (Figure 1b), suggérant alors un accord *quantitatif aussi bien que qualitatif* satisfaisant, et une étude pratiquement achevée.⁴



Figures 1 Exemple de manipulation de données expérimentales : (a) à gauche : données rabotées (*trimming*) ; (b) à droite, données réduites (*cooking*)

Or la prise en compte de l'ensemble des données expérimentales, comme sur la Figure 2, effectivement publiée, induit une conclusion très différente, avec un accord au mieux approximatif, aussi bien du point de vue qualitatif que quantitatif.

3. Typiquement, l'expérimentateur distrait qui a oublié de brancher un détecteur peut sans grand risque éliminer les "données" correspondantes à ces "mesures" fautives, et s'abstenir sans trop de remords de le mentionner dans ses publications...

4. Éric Picholle, comm. privée. Article scientifique paru dans le *Journal de l'Optical Society of America* (C. Montes, E. Picholle et al., JOSA B, 1999).

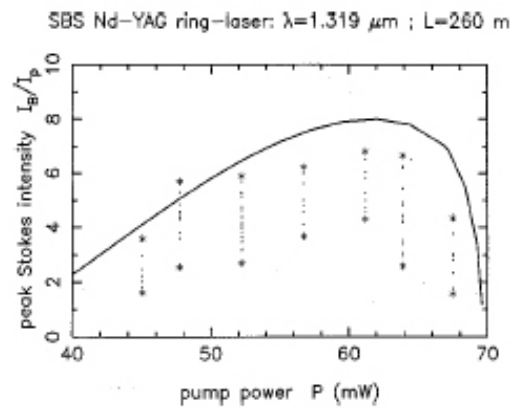


Fig. 2: *idem*. Données "complètes" (effectivement publiées)

La dispersion considérable des mesures montre surtout l'instabilité du composant étudié. La suite de l'article discute cette difficulté sous l'hypothèse d'un paramètre *expérimental* non contrôlé, ce qui sera confirmé et corrigé dans une publication ultérieure.

Le jeu de critères de scientificité développé pour la science scolaire prend en compte ces mauvaises pratiques.

- Le critère d'*intégrité* disqualifie *a priori* non seulement toute publication de fausses données, mais aussi toute manipulation de ces données pour suggérer au lecteur des conclusions incorrectes.
- Le critère de communication implique que *tous* les résultats pertinents soient mis à dispositions de la communauté pour y être discutés, excluant donc dans une large mesure la pratique du rabotage et *a fortiori* de la réduction, au moins délibérée.
- Le critère d'exhaustivité de la documentation disqualifie la pratique consistant à choisir les résultats que l'on publie : une documentation avec des données "rabotées" ou "réduites" ne vérifie pas le critère. Par ailleurs, la primauté de l'expérience impose qu'en cas de conflit avec l'expérience, un discours, en particulier théorique soit remis en cause (après les vérifications d'usage pour s'assurer de leur pertinence) : éliminer ou ne pas rapporter des données en désaccord avec une théorie est également une pratique non scientifique.

Partie 6

Appropriation de critères de scientificité par les enseignants et futurs enseignants du primaire

Nombre de formateurs semblent tenir pour implicite que la simple participation à des démarches d'investigation suffit à modifier la vision de la science des enseignants. Après un point sur les représentations de la nature de la science et les critères de scientificité spontanément mis en œuvre — ou non — par les enseignants et futurs enseignants du primaire, nous évaluerons quelques stratégies pédagogiques incluant des apports épistémologiques croissants pour tenter de déterminer quels éléments il est utile d'intégrer à la démarche d'investigation pour favoriser l'émergence d'une vision claire de la nature de la science chez les enseignants.

6.1. Impact de la D.I. sur le rapport à l'expérience

L'observation personnelle et l'expérimentation sont au cœur de la pédagogie par la démarche d'investigation telle que la préconisent les programmes de l'école primaire¹. L'image même de "mettre la main à la pâte", récurrente dans ce contexte, est sans ambiguïté à cet égard. Avant d'envisager des éléments de scientificité plus sophistiqués, il est donc nécessaire d'enquêter sur l'impact de la démarche d'investigation sur le rapport des participants à l'expérience.

Après avoir dégagé dans un premier temps les relations entre le statut de l'expérience et les éléments de scientificité associés à ce statut (6.1.1.), on s'intéressera dans un second temps à l'évolution du rapport à l'expérience de participants à des démarches d'investigation au travers du prisme de ces éléments (6.1.2.).

6.1.1. STATUT DE L'EXPERIENCE EN DEMARCHE D'INVESTIGATION

Le statut de l'expérience lors d'une démarche d'investigation² influe directement sur la perception de la notion plus technique de "primauté de l'expérience". En tant que substitut à l'argument d'autorité, l'expérience influe également sur la perception de la notion de "non scolasticité". Enfin, le statut de l'expérience en démarche d'investigation peut influencer sur la perception de la notion d'"opportunité", l'expérience étant le moyen privilégié pour répondre à un questionnement. On s'intéresse dans cette section aux rapports qu'entretient l'expérience en D.I. avec ces différents éléments de scientificité.

1.1.1. Rapport à la primauté de l'expérience

Programme fort

Une première approche de la démarche d'investigation consiste à imposer la confrontation systématique à l'expérience des affirmations des participants. Aucun résultat n'est alors reconnu comme concluant sans confirmation expérimentale.

Le choix de séquences compatibles avec le programme fort de la démarche d'investigation est rendu possible par le programme de physique élémentaire enseignée à l'école primaire. La principale exception concerne l'astronomie.

Cette contrainte, que nous qualifierons de "programme fort d'investigation", est *a priori* plus sévère que la simple reconnaissance de la primauté de l'expérience *en cas de contradiction* avec un discours. Le critère de scientificité correspondant est donc toujours vérifié lors d'une séquence en démarche d'investigation *dûment menée à son terme* dans cet esprit.

1. « Observation, questionnement, expérimentation et argumentation pratiqués, par exemple, selon l'esprit de la Main à la pâte sont essentiels pour atteindre ces buts ; c'est pourquoi les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique. ». Bulletin Officiel, Hors série, n°3, 19 juin 2008, p. 24.

2. Edith Saltiel, *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?*, op.cit., p. 9.

Par principe, lors d'une démarche d'investigation expérimentale, le meneur de jeu utilise les résultats obtenus pour aboutir avec les participants à une formulation de réponse acceptable qui sera ensuite institutionnalisée. Ce fonctionnement implique souvent un travail important sur la formulation pour prendre en compte les résultats obtenus avec toutes les précautions d'usage. S'il est mené correctement, la primauté de l'expérience est automatiquement vérifiée.

Dans les séquences animées par le praticien-chercheur, ce programme fort a été ritualisé *via* un échange constitué de la question récurrente "*Comment fait-on pour savoir ?*" et de la réponse qu'elle appelle, "*On essaie*".

Séquences d'investigation basées sur un témoignage extérieur

Lorsque l'expérimentation n'est pas possible, les participants sont le plus souvent conduits à confronter les modèles qu'ils élaborent à des témoignages (e.g. en astronomie : observations réalisées dans l'hémisphère sud). En amont de la démarche d'investigation, le meneur de jeu doit donc s'assurer de la plausibilité et de la fiabilité des témoignages proposés. Sous cette condition, les participants, confrontés à des modèles incompatibles avec ces témoignages garantis par le meneur de jeu, sont conduits à invalider leurs modèles plutôt ces derniers.³ On peut alors considérer que la primauté de l'expérience est étendue aux expériences "par procuration", le critère de scientificité proprement dit restant inchangé.

Séquences d'investigation sans base expérimentale

La Main à la Pâte propose également des démarches d'investigation sans base expérimentale. « Une recherche sur documents, une enquête, la réalisation d'une émission de radio, d'un petit film, une visite »⁴ sont alors autant de méthodes possibles pour mener une investigation, la recherche documentaire procédant « par la lecture de documents papiers ou électroniques ou l'interview de personnes compétentes »⁵.

Cette diversité des méthodes peut en particulier s'avérer utile en biologie.⁶ En effet, l'expérimentation sur le vivant y est souvent problématique, l'utilisation de photos d'observation brutes trop complexe pour de jeunes élèves ; le recours aux documents secondaires ou à l'expertise s'avère alors souvent le seul moyen disponible à l'école primaire pour répondre aux questions posées.⁷

La question de la primauté de l'expérience devient alors assez complexe, dans la mesure où on ne la connaît que de façon indirecte. Sa résolution peut alors être

3. Cette règle générale n'exclut pas des exercices spécifiquement orientés vers la remise en cause de l'autorité d'un témoignage ou d'un manuel. Mais celle-ci est *a priori* seconde, n'intervenant qu'après qu'on s'est dûment convaincu expérimentalement de la validité des modèles contraires. D'autre part, si cette remise en cause n'est pas préméditée par l'enseignant et intégrée à sa séquence, elle exige de sa part une solide maîtrise à la fois du domaine concerné (ici, la physique) et de la conduite d'une séance en démarche d'investigation.

4. Edith Saltiel, *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?*, op.cit., p. 9.

5. p. 11, *ibid*

6. Voir par exemple le manuel scolaire *Sciences Cycle 3, 64 enquêtes pour comprendre le monde*. J.-M. Rolando, P. Pommier, M.-L. Simonin, G. Simonin, J. Nomblot, J.-F. Laslaz, & S. Combaluzier, , éd. Magnard, coll. Odyseo 2010.

7. Cf. discussion sur la vulgarisation scientifique de la partie 5, § 5.4.3.

assez différente selon que l'intermédiaire, auteur du document ou du discours, est ou non lui-même un témoin direct de l'expérience, ou un simple relais d'un autre discours d'autorité.⁸

Le choix de restreindre les méthodes de résolution des investigations à l'expérimentation directe et, dans les rares cas où cela n'est pas possible, à l'usage de témoignages, facilite grandement le traitement de la question de la primauté de l'expérience. Cette dernière devient alors une contrainte méthodologique intrinsèque à la démarche d'investigation.

1.1.2. Rapport à l'autorité et à l'opportunité

Les démarches d'investigation considérées ici imposent la confrontation de toute affirmation à l'expérience, directement ou (plus rarement) "par procuration". Elles impliquent par conséquent le rejet de tout argument d'autorité au profit de résultats expérimentaux.

Le statut de l'enseignant n'est alors plus le même qu'en pédagogie frontale. Il renonce à sa position d'autorité pour devenir celui qui facilite les échanges entre élèves ; il les guide dans la mise en œuvre expérimentale ainsi que dans la procédure de validation des résultats, etc. La non scolasticité se retrouve donc naturellement vérifiée lors d'une séquence en démarche d'investigation menée dans cet esprit.

Les démarches d'investigation que vivent les participants sont provoquées par une situation de départ génératrice d'un questionnement. Par construction, chaque investigation vise à répondre à une question des participants. Les expériences réalisées à cet effet vérifient donc toujours le critère d'opportunité.

6.1.2. ÉVOLUTION DU RAPPORT A L'EXPERIENCE

Pour évaluer l'impact de la démarche d'investigation sur le rapport des participants à l'expérience, on s'appuie sur des questionnaires et discussions en amont et en aval des démarches d'investigation vécues (1.2.1.). On évaluera l'évolution globale du rapport des participants à la démarche scientifique (1.2.2.) puis on rentrera plus en détail dans l'évolution de leur rapport à l'expérience au regard de la primauté de l'expérience (1.2.3.), de la non scolasticité (1.2.4.) et de l'opportunité (1.2.5).

1.2.1. Formations sondées

Une étude systématique de l'évolution du rapport à l'expérience des participants a été réalisée lors de deux formations initiales et de trois stages de formation continue à la démarche d'investigation.

Les deux formations initiales, d'une durée de 24 h, impliquent des étudiants en Master 1 EEF et en PE1⁹. La mise en œuvre est comparable, à la différence que

8. Voir la discussion sur la distinction entre vulgarisation de points de vue externe ou interne, § 5.4.3.1.2. On peut également envisager le statut documentaire d'un texte fictionnel (cf. § 5.4.3.).

9. Selon la nomenclature du 4.2.1.4.3., respectivement : gr. 32-37 (2010-2011) pour le Master 1 EEF et gr. 20-27 (2009-2010) pour les PE1.

les étudiants de Master préparent un concours dont l'épreuve est exclusivement basée sur des questions de connaissance et les PE1 une épreuve associant contrôle des connaissances et maîtrise de la démarche d'investigation.

Les trois stages de formation continue ont des modalités et un public différents :

- un stage de 12h (FC 12 h) concentré sur deux journées et choisi par 10 enseignants motivés (gr. 29)
- un stage de 17h (FC 17 h) concentré sur deux semaines (5 jours de stage) choisi par 12 enseignants motivés (gr. 38)
- un stage filé (SF) d'une journée par semaine sur l'année scolaire avec 6 journées (36 h) de cours de sciences choisi par 15 enseignants dont 5 d'entre eux précisent en début de formation qu'ils sont venus « *pour souffler* » (gr. 14).

Les participants ont répondu, à différents stades de leur formation, à des questionnaires visant à déterminer leur représentation de la nature de la science.¹⁰ Les questionnaires soumis en début de formation sont qualifiés de "pré-DI" ; les autres de "post-DI".¹¹ L'ensemble des réponses aux questionnaires des groupes 14, 32-37 et 38 est disponible en annexes 6.A.a. à 6.A.c. Le tableau 1.2.1. synthétise ces informations.

	M1EEF	PE1
Nature des éléments recueillis	Questionnaires ¹² soumis en début et en fin de cours	Questionnaires ¹³ intermédiaires après 3 et 6 h de démarche d'investigation Questionnaire soumis en fin de formation
Nombre d'éléments recueillis	54 questionnaires couplés pré/post + 21 pré-questionnaires seuls + 27 post-questionnaires seuls	36 questionnaires après 3h de D.I. 31 questionnaires après 6h de D.I. 17 questionnaires en fin de formation

10. Les questions et questionnaires soumis à chaque groupe de participants sont disponibles dans la partie méthodologie § 4.2.1.8.2. et mis en note pour rappel.

11. On se contentera parfois d'écrire "pré-questionnaire", ou "post-questionnaire".

12. Gr. 32-37. Questions posées en début de cours : « *Quels critères utilisez-vous pour identifier un document comme étant scientifique (par exemple en physique, autrement dit, comment reconnaissez-vous qu'un document est scientifique ou pas) ?* » et « *Pour vous qu'est-ce qu'un scientifique (un physicien) ? C'est quelqu'un qui...* ». Questions posées en fin de cours : « *Comment reconnaissez-vous qu'un document, traitant par exemple de physique, est ou non scientifique ? Quels critères appliquez-vous pour cela ? Quand peut-on qualifier un énoncé de scientifique ?* », « *Pour vous, qu'est-ce qu'un scientifique ?* » et « *Avoir personnellement mené une démarche d'investigation a-t-il changé votre compréhension de la démarche scientifique ? En quoi ?* ».

13. Gr. 20-27. Après les trois premières heures de cours en D.I. sur les ombres colorées, il leur était demandé s'ils avaient fait des sciences et de justifier leur réponse (gr. 20, 25 & 26). Après trois nouvelles heures de cours en D.I. sur l'astronomie (alternance du jour et de la nuit et saisons), la même question leur était posée. Il leur était également demandé s'ils avaient des idées pour rendre la séance plus scientifique (gr. 20, 21, 24). Questions posées en fin de cours (gr. 22) : « *Quand peut-on qualifier un énoncé de scientifique ? / Qu'est-ce qu'un scientifique ? / Votre pratique personnelle de la D.I. a-t-elle changé votre compréhension de la démarche scientifique ? En quoi ?* ».

	SF	FC 12h	FC 17h
Nature et nombre d'éléments recueillis	15 Questionnaires ¹⁴ soumis en début 14 Questionnaire soumis en fin de formation	10 Questionnaires ¹⁵ soumis en début de formation 10 Questionnaires intermédiaires après 6h de démarche d'investigation 11 Questionnaires soumis en fin de formation	12 Questionnaires ¹⁶ soumis en début de formation 10 Questionnaires soumis en fin de formation Transcription des discussions entre stagiaires sur leurs réponses au questionnaire final et échange collectif avec le praticien-chercheur

Tableau 1.2.1. : Éléments recueillis au cours des différentes formations

1.2.2. Une meilleure compréhension de la démarche scientifique

Un premier enjeu est l'évolution de la compréhension de la démarche scientifique induite par la formation. Pour l'évaluer, on s'appuie sur les réponses des participants à la question : « *Avoir personnellement mené une démarche d'investigation a-t-il changé votre compréhension de la démarche scientifique ?* ».

Au total, 93 participants sur 119 déclarent que leur compréhension de la démarche scientifique a changé (Figure 1.2.2.a.). Une large majorité des participants déclarent donc que *vivre des démarches d'investigation conduit à une modification de leur compréhension de la démarche scientifique*.

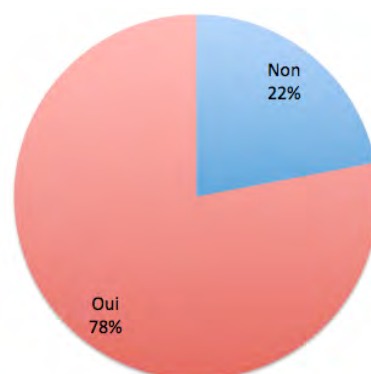


Figure 1.2.2.a. : Proportion des participants dont la compréhension de la démarche scientifique a changé après l'expérience de démarches d'investigation (119 réponses)

14. Gr. 14. Questions posées en début de cours : « *Comment savoir si quelque chose est scientifique ?* » et « *Pour vous qu'est-ce qu'un scientifique ?* ». Questions posées en fin de cours : « *Quand peut-on qualifier un énoncé de scientifique ?* », « *Pour vous, qu'est-ce qu'un scientifique ?* » et « *Votre pratique personnelle de la démarche d'investigation a-t-elle changé votre compréhension de la démarche scientifique ? En quoi ?* ».

15. Gr. 29. Questions posées en début de cours : « *Qu'est-ce qui fait que qq chose est scientifique ?/ Comment définir la science ?/ Qu'est-ce qu'un scientifique ?/ Avez-vous déjà mené des D.I. ?* ». Questions posées après 6h de formation : « *Pensez-vous que nous avons fait des sciences ?/ est-ce qu'un des approches était plus scientifique (matinée avec expérimentation et après-midi avec recours à des témoignages pour travailler sur la pression atmosphérique)* ». Questions posées en fin de cours : « *Est-ce qu'on a fait des sciences ? / Qu'est-ce qui caractérise la démarche scientifique ?* ». Les questionnaires sont anonymes mais il été possible d'identifier l'écriture des différents participants et de rassembler ceux appartenant à un même individu.

16. Gr. 38. Questions posées en début de cours : « *À votre avis, qu'est-ce qui permet de distinguer une production scientifique d'une production qui ne l'est pas ?/ A votre avis, qu'est-ce qui permet de distinguer une approche scientifique d'une approche qui ne l'est pas ?/ Pour vous, qu'est-ce qu'un scientifique ? C'est quelque qui...* ». Questions posées en fin de cours : « *Les situations d'investigation vécues ensemble ont-elles changé votre façon de voir les sciences ? Votre façon de voir l'enseignement des sciences ? Vos idées sur ce qu'il faut transmettre aux enfants sur la nature de la science ?* ».

Leurs réponses à la question « *En quoi [votre compréhension de la démarche scientifique a-t-elle changé] ?* » conduit cependant à relativiser ce résultat encourageant. En effet, alors que certains participants justifient bien leur réponse en termes d'évolution de leur compréhension de la démarche scientifique, d'autres mêlent dans leur justification des éléments non directement liés à la démarche scientifique.

Exemples de justifications directement pertinentes :

« Ma pratique personnelle de la démarche d'investigation a changé ma compréhension de la méthode scientifique car j'ai réalisé l'importance des expériences par rapport à un problème scientifique bien défini. » (PE1, Q3)

« Oui, prise de conscience que l'expérience ne veut rien dire sans hypothèse formulée, et qu'une seule expérience ne peut pas toujours vérifier la véracité d'une hypothèse. » (M1EEF, Q50)

« Cela change des années de physique théorique. Je comprends mieux comment travaillent les scientifiques ainsi que l'intérêt d'étudier l'élaboration d'une théorie et sa démonstration. » (M1EEF, Q65)

Une analyse plus détaillée de ces réponses montre en particulier une dépendance significative des types de justification en fonction de l'objectif affiché de la formation, qui varie selon le public considéré.

Ainsi, 30% des étudiants de M1EEF (25 ét.) qui passent un concours focalisé sur les connaissances, affirment que la D.I. permet de *mieux comprendre*, et 14% qu'elle permet de *mieux retenir* (12 étudiants).

Exemples de justifications liées aux processus d'apprentissage :

« Oui, cela permet de mieux comprendre des phénomènes extérieurs complexes par la réalisation d'expériences simples et accessibles à tous. » (M1EEF, Q2)

« Le fait de pratiquer la démarche d'investigation permet réellement d'apprendre puisque le fait d'expérimenter soi-même un phénomène permet de mieux l'assimiler, le garder en mémoire. » (M1EEF, Q7)

En formation continue, les enseignants s'expriment beaucoup plus d'un point de vue pédagogique que d'un point de vue personnel.

Exemple de justification d'ordre pédagogique :

« Elle a indéniablement changé, car je me suis lancée, sans appréhension, dans un projet, où cette démarche a été menée. J'ai essayé d'évacuer, lors des séances avec les élèves, la peur de dire une bêtise sans m'en rendre compte. Pour m'améliorer, je sais que je dois encore laisser davantage de temps aux élèves, afin de ne pas les stopper dans un élan, porteur de découvertes. » (SF, Q6)

On isole donc les questionnaires pour lesquels au moins une partie de la réponse inclut des éléments relatifs à la démarche scientifique (Tableau 1.2.2.b).

Exemple de justification mixte :

« Jusqu'à présent j'osais très peu pratiquer en classe par crainte de ne pas être à la hauteur. Je le ferai désormais beaucoup plus facilement car je pense maintenant que les réponses aux questions que l'on se pose ne doivent pas être uniquement être apportées par l'enseignant. » (SF, Q4)

	PE1 (17)	M1EEF (81)	SF (11)	FC 17h (10)	Total (119)
Participants pour lesquels vivre des D.I. a changé leur vision de la démarche scientifique (ou formulation équivalente)	14	62	9	8	93
	82%	77%	81%	80%	78%
Participants intégrant des éléments relatifs à la démarche scientifique dans leur justification	10	52	8	10 ¹⁷	80
	59%	64%	71%	100%	67%

Tableau 1.2.2.b. : Proportion des réponses considérant que la compréhension de la démarche scientifique a changé et des justifications intégrant des éléments relatifs à la démarche

Globalement, 78% des participants déclarent donc que vivre des démarches d'investigation a changé leur compréhension de la démarche scientifique et 67% fournissent des justifications qui confortent cette réponse.

Ces justifications semblent toutefois dépendre significativement de l'origine des participants. On distinguera les différentes populations dans la suite de l'étude.

Il reste difficile d'évaluer dans quelle mesure la compréhension de la démarche scientifique des 11% des participants qui n'en donnent pas d'indices a, ou non, effectivement évoluée.

1.2.3. Une primauté de l'expérience en construction

Dans cette section, on s'intéresse à l'impact de la démarche d'investigation sur le rapport à la primauté de l'expérience des participants. On commence dans un premier temps par identifier les différents usages qu'ils attribuent à l'expérience. On évalue ensuite l'évolution *pour chaque formation* du nombre de participants qui se positionnent d'une part sur l'ensemble de ces usages et d'autre part sur chaque usage avant de synthétiser les résultats.

Hiérarchie des rapports à l'expérience

On constate que les usages de l'expérience proposés sont de sophistication variable. Cinq niveaux sont identifiés, du plus avancé (U1) au plus rudimentaire (U5) :

— U1 : l'expérience (le témoignage) sert à valider ou non une idée ou une hypothèse

e.g. « Une personne qui recherche par l'expérimentation à vérifier ce qu'il pense. » (gr. 14, Q15)

— U2 : L'expérience sert de preuve

e.g. « Un scientifique fait des recherches, des expériences afin de prouver des hypothèses sur les phénomènes qui nous entourent. » (gr. 32-37, Q62)

— U3 : L'expérience permet d'accéder à la vérité

e.g. « Un scientifique cherche la vérité par l'expérimentation » (gr. 32-37, Q7)

— U4 : L'expérience permet de démontrer ou vérifier des théories

e.g. « Un scientifique est une personne qui se penche sur des théories et essaie de les démontrer par des expériences » (gr. 32-37, Q26)

17. Deux enseignants ont indiqué que vivre des D.I. n'avait pas changé leur vision de la démarche scientifique mais précisent dans leurs commentaires l'évolution de leur compréhension de certains éléments méthodologiques.

— U5 : L'expérience est citée sans plus de précision

e.g. « Les termes utilisés ne seront pas les mêmes, l'approche sera différente, nécessité souvent de valider par différents moyens (schémas, expériences, etc.). » (gr. 38, Q2)

La catégorie U5 rassemble les réponses les plus rudimentaires. Les sciences y sont associées aux expériences sans qu'il ne leur soit attribué aucun rôle précis.

Les catégories U2, U3 et U4 sont intermédiaires : U2 rassemble des réponses moins sophistiquées que U1, dans la mesure où les participants considèrent l'expérience comme une preuve en soi plutôt que comme un élément d'un processus plus complexe impliquant la confrontation à un discours. Dans la catégorie U3, l'expérience est perçue comme un moyen d'accès à une vérité "absolue" et pose la question du recul. En l'absence d'information sur le sens du mot "théorie" pour les participants, il est difficile d'évaluer le niveau de sophistication des réponses en U4. On considérera par défaut qu'elles expriment un rapport à l'expérience proche de celui de la catégorie U2 en prenant comme sens du mot "théorie" pour les participants celui d'"explication".

Les participants pour lesquels l'expérience est l'arbitre de la validation ou non d'une hypothèse (U1) mobilisent, au moins implicitement, la notion de primauté de l'expérience — sous réserve qu'en cas de contradiction entre l'hypothèse et les résultats expérimentaux, ce soit l'hypothèse qu'ils remettent en cause, ce que l'on suppose.

L'accès au niveau U1 constituant l'un des objectifs de ces formations, on s'intéressera tout particulièrement à son évolution dans les différentes formations.

1.2.3.1. Formation initiale (M1 EEF & PE1)

On constate à la fois une nette augmentation du nombre d'étudiants qui associent la scientificité à l'expérimentation et une progression de la sophistication des réponses chez les étudiants en master EEF et en PE1.

Sur les 54 étudiants de master EEF qui ont répondu à la fois au questionnaire initial et au questionnaire final¹⁸, on identifie 14 nouvelles réponses¹⁹ dans les catégories U1-U5 (+ 25%) entre les deux questionnaires. Après formation, 31 étudiants sur 54 accèdent à la catégorie U1 contre 12 initialement. Le nombre d'étudiants dans la catégorie U1 augmente donc significativement (+ 37%) entre le début et la fin de formation. (Tableau 1.2.3.1.a. & b.)

	PréQ. (54)	PostQ. (54)
U1 L'expérience sert à valider ou non une idée ou une hypothèse	11 (20%)	31 (57%)
U2 L'expérience sert de preuve	3	4
U3 L'expérience permet d'accéder à la vérité	2	1
U4 L'expérience permet de démontrer ou vérifier des théories	4	2
<i>Sous total des réponses fixant un objectif de validation à l'expérience</i>	<i>20 (37%)</i>	<i>38 (70%)</i>
U5 L'expérience est citée sans plus de précision	15	11
Nb. de réponses évoquant explicitement l'expérience	35 (65%)	49 (90%)

Tableau 1.2.3.1.a. : Distribution catégorielle des réponses des étudiants M1EEF

18. Et sont identifiés en tant que tels, ce qui n'est pas toujours possible, en cas d'anonymisation des questionnaires.

19. Ce sont en fait 15 nouveaux étudiants qui entrent et un étudiant qui sort de ces catégories. Ce dernier précise toujours que les sciences procèdent en testant des hypothèses mais sans préciser l'expérience comme modalité de test.

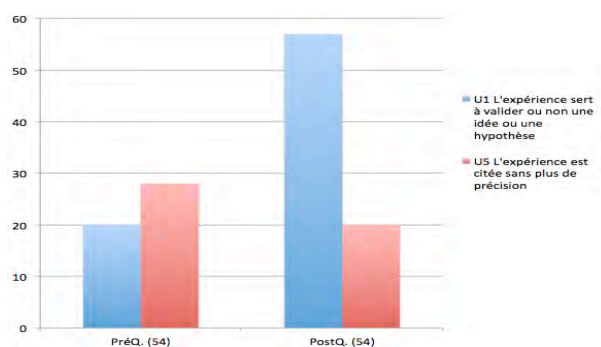


Tableau 1.2.3.1.b. : Évolution de la proportion de participants aux niveaux extrêmes U1 & U5 avant/après formation (en pourcentage)

Les étudiants en PE1 ont répondu sur la base du volontariat, par écrit chez eux. Après 3h ou 6h de démarche d'investigation,²⁰ un nombre comparable d'étudiants exprime l'idée que science et expérience sont associées (77%). On constate en revanche une augmentation significative (+28%) du nombre des étudiants dans la catégorie U1 : ils sont 36% après 3h de D.I. et 64% après 6h de D.I. En fin de formation, les résultats sont comparables à ceux trouvés après 6h de formation.

	3h D.I.		6h D.I.		Fin de formation	
Nb Total de réponses	36		31		17	
U1 L'expérience sert à valider une hypothèse	13	(36%)	20	(64%)	10	(59%)
U2 L'expérience sert à prouver	1				2	(12%)
U5 L'expérience est citée sans plus de précision	15	(41%)	4		3	(18%)
Nb. de réponses évoquant explicitement l'expérience	29	(80%)	24	(77%)	15	(88%)

Tableau 1.2.3.1.c. : Évolution des éléments recueillis en PE1 après 3h, 6h et en fin de formation

Avec toutes les précautions qui s'imposent au regard du peu d'étudiants sondés et de l'utilisation de groupes d'étudiants différents à chaque fois, il semble que la sophistication des réponses fournies s'améliore après la participation à deux séances en démarche en démarche d'investigation.

Par ailleurs, les résultats trouvés avec les M1EEF sont cohérents avec ceux des PE1 et vont dans le sens d'une intégration par les étudiants au cours des démarches d'investigation de l'idée que l'expérience est le moyen pour valider des hypothèses (Tableau 1.2.3.1.d.).

	Début de formation	3h de D.I.	6h de D.I.	Fin de formation
L'expérience sert à valider une hypothèse	20% (M1EEF)	36% (PE1)	64% (PE1)	52% (M1EEF) 59% (PE1)

Tableau 1.2.3.1.d. : Comparaison de l'évolution des PE1 et M1EEF

20. Les réponses obtenues après 3 et 6 h de formation émanent d'étudiants différents.

1.2.3.2. Stages en formation continue

Stage de 12 h, groupe 29

On constate entre le début et la fin de formation une augmentation importante tant du nombre de réponses évoquant explicitement l'expérience que de celles entrant dans la catégorie U1 (de 1 sur 10 à 7 sur 11) (Tableau 1.2.3.3.a.).

(Nb Total de participants)	Début de formation (10)		6h D.I. (10)		Fin de formation (11)	
U1 L'expérience sert à valider une hypothèse	1	(10%)	2	(20%)	7	(63%)
U5 L'expérience est citée sans plus de précision	3	(30%)	5		2	(18%)
Nb. de réponses évoquant explicitement l'expérience	4	(40%)	7	(70%)	9	(81%)

*Tableau 1.2.3.3.a. : Évolution des réponses des stagiaires du groupe 29.
Les catégories U2 à U4 ne contiennent aucune réponse.*

Par ailleurs, suite à deux demi-journées de travail sur l'air, l'une très expérimentale et l'autre plus formelle, 8 enseignants sur 10 considèrent qu'une approche formelle n'est pas plus scientifique qu'une approche expérimentale (sur les deux autres réponses, l'unique justification fournie est que « c'est plus théorique donc c'est plus scientifique »).

Stage Filé, groupe 14

On constate une augmentation du nombre de participants évoquant explicitement l'expérience comparable à celle du stage de 12h (Tableau 1.2.3.3.b.).

	Début de formation		Fin de formation	
Nb Total de participants	15		14	
U1 L'expérience sert à valider une hypothèse	4	(27%)	6	(43%)
U5 L'expérience est citée sans plus de précision	3	(20%)	4	(28%)
Nb. de réponses évoquant explicitement l'expérience	7	(47%)	10	(72%)

*Tableau 1.2.3.3.b. : Évolution des réponses des stagiaires du groupe 14.
Les catégories U2 à U4 sont vides.*

L'évolution du nombre de participants dans la catégorie U1 est, quant à lui, moindre (passage de 27% à 43%) que pour le stage de 12h (passage de 10% à 63%). Il semble donc que, de ce point de vue, cette formation ait été moins efficace que la précédente. Même si cette différence demeure difficile à interpréter, il est possible qu'un problème de motivation y ait contribué.²¹

21. Ce groupe comportait de nombreux enseignants dont l'objectif n'était pas de se former mais de "souffler". La dispersion de la formation sur 6 journées dans l'année sans contrainte institutionnelle (e.g. mise en place dans la classe) peut être un autre facteur défavorable.

1.2.3.3. Synthèse

Après avoir participé à des démarches d'investigation simples, 80% des participants (toutes origines confondues) associent les sciences à l'expérimentation. Cette proportion finale élevée semble peu sensible aussi bien à la nature de la formation, initiale ou continue qu'à la proportion initiale de participants associant science et expérience.

Formation	M1EEF		PE1		SF		FC 12h	
	Q.initial	Q. final	Init.	Fin.	Init.	Fin.	Init.	Fin.
Nb. stagiaires	54	54	36	17	14	14	10	11
Nb. de réponses évoquant explicitement l'expérience	65%	90%	80%	88%	47%	72%	40%	81%
Catégorie U1	20%	57%	36%	59%	27%	43%	10%	63%

Tableau 1.2.3.3. : Tableau récapitulatif

Toutes formations confondues, en début de formation, 30% des participants mettent en relation l'expérience avec le test d'hypothèses (U1) et 30% citent l'expérimentation sans préciser son utilisation.

Ils sont en fin de formation 60% à mettre en relation l'expérience avec le test d'hypothèses (U1) ce qui représente une augmentation de 30%.

Les démarches d'investigation proposées aux participants ont pour fondement le recours à l'expérience pour tester les idées émises. Leurs réponses montrent qu'ils perçoivent effectivement cet élément des démarches d'investigation auxquelles ils participent et qu'ils s'approprient majoritairement cet usage de l'expérience.

1.2.4. Rapport à l'autorité

On cherche maintenant dans les réponses des stagiaires des traces d'une évolution de leur rapport à l'autorité, et plus précisément à la non-scolasticité, associée à la participation à des démarches d'investigation.

Formation initiale

Les étudiants en PE1 et M1EEF expriment peu leur rapport à l'autorité. On trouve une occurrence en PE1 et deux en M1EEF.

- « Plutôt que des connaissances apportées par le professeur, nous avons observé, manipulé, constaté. » PE1, anonyme
- « Un scientifique doit tout remettre en cause, laisser les certitudes au "placard" pour mettre en expérimentation les hypothèses. » M1EEF, Q 25
- « Oui, car ce qui nous paraît de prime abord évident ne l'est en fait pas car plusieurs hypothèses pourraient expliquer un phénomène, il faut donc les vérifier. » M1EEF, Q 37

Stages en formation continue

Plus de la moitié (8 sur 14) des stagiaires du groupe 14 et 8 enseignants sur 10 du groupe 38 expriment la volonté de modifier leur façon d'enseigner les sciences en réduisant les apports magistraux de connaissances au profit de l'expérimentation.

Exemple de réponses de stagiaires du groupe 14 à la question « *Votre pratique personnelle de la démarche d'investigation a-t-elle changé votre compréhension de la démarche scientifique ?* » indiquant une évolution du rapport à l'autorité :

- « *Ne pas donner des réponses toutes faites mais amener à réfléchir, au delà des certitudes implicites* ». (Q5)
- « *Pour éviter aux enfants de toujours poser la question « pourquoi ? », aux adultes alors qu'ils peuvent mettre en place des expériences pour trouver la réponse eux-mêmes !* (Q13)
- « *Pour amener les enfants à faire des hypothèses, à concevoir par eux-mêmes certaines données [...] pour trouver eux-mêmes, résoudre eux-mêmes l'énigme donnée.* » (Q10)
- « *Jusqu'à présent j'osais très peu. Je le ferai désormais beaucoup plus facilement car je pense maintenant que les réponses aux questions que l'on se pose ne doivent pas être uniquement être apportées par l'enseignant. [...] Pour comprendre que les savoirs ne sont pas qu'une accumulation de connaissances.* » (Q4)

Exemple d'expression au cours de la formation d'une évolution du rapport à l'autorité des stagiaires du groupe 38 :

- « *C'est la démarche qui aboutit à un savoir. Ce n'est pas le savoir qui est prioritaire. Ce n'est pas juste une transmission de connaissances. Il faut les faire expérimenter, c'est eux qui vont construire.* » (2635 -2637- 2639)
- « *Je me servais plutôt de l'expérimentation pour illustrer une connaissance que j'imposais, et non pour la découvrir.* » (2673)
- « *Maintenant je pense qu'il faudrait mettre en place un schéma pour répondre à leurs questions, et suivre la démarche d'investigation pour qu'ils trouvent eux-mêmes les réponses aux questions.* » (2677)
- « *Avant, c'était plus dans la transmission d'un savoir plutôt que transmettre une attitude à avoir pour construire une connaissance avec la démarche d'investigation.* » (2606)
- « *Oui, mais le fait de se poser pleins de questions ça peut les intéresser. Plutôt que de croire ce qu'on leur raconte.* » (2653)

Synthèse

On observe donc une évolution marquée du rapport à l'autorité en formation continue, mais non en formation initiale.

Les enseignants en poste ont l'habitude d'être la figure d'autorité dans la classe. Cette expérience personnelle pourrait expliquer au moins en partie leur plus grande sensibilité à la modification du rapport à l'autorité en œuvre en démarche d'investigation.

1.2.5. Rapport au questionnement et à l'opportunité

En démarche d'investigation, l'expérimentation est le moyen privilégié pour trouver la réponse aux questions que se posent les participants. Les expériences y sont donc, par construction, opportunes, les participants sachant toujours pourquoi ils font une expérience. On s'intéresse donc à l'évolution du nombre de participants intégrant le *questionnement* dans leurs réponses aux questionnaires.

Formation	M1EEF Q. initial/ Final		PE1 Q. initial/ Final		SF (gp. 14) Q. initial/ Final		FC 12h (gp. 29) Q. initial/ Final		FC 17h (gp. 38) Q. initial/ Final	
Présence du Questionnement	21%	36%	17%	71-76%	33%	79%	30%	60%	58%	90% (discussion)

Tableau 1.2.5. : Proportion de participants incluant le questionnement dans leurs réponses pour chaque formation

À l'exception des étudiants en master EEF, le rapport au questionnement des participants évolue significativement. **Ils sont plus de 70% en fin de formation à associer les sciences au fait de poser des questions.**

Les réponses aux questionnaires des stagiaires SF sont révélatrices de la nature de la modification de leur relation au questionnement : essentiellement son intégration dans un processus plus vaste de recherche.

Exemples de réponses révélatrices d'une modification de la relation des participants au questionnement :

- « Oui. Toute question doit être prise en compte. Tout questionnement ouvre des portes. Ne pas donner des réponses toutes faites mais amener à réfléchir, au delà des certitudes implicites. » (SF, Q5)
- Plus d'expériences réalisées par les élèves. Acceptation de toutes les hypothèses émises par les élèves. – Pour faire acquérir par les élèves qu'il faut toujours se poser des questions et admettre qu'il n'y a pas toujours de réponses définitives. » (SF, Q11)

L'association questionnement/expérience/démarche scientifique apparaît plus nettement encore dans les échanges du groupe 38 entre stagiaires et avec le praticien-chercheur.

Exemples de réponses révélatrices de l'association questionnement/expérience/démarche scientifique :

- « Mais au départ c'est toujours d'une question qu'un scientifique va chercher, il ne va pas chercher au hasard. Et après il va chercher dans cette orientation là, dans un domaine précis. Est-ce qu'il s'oriente dès le départ vers un point précis ou c'est avec des chercheurs qu'ils cherchent ? » (2730)
- « C'est la formulation de la question qui fait qu'on va avoir une démarche scientifique ou pas pour répondre à la question. » (2769) / (Pr.-Ch.) Qu'en pensez-vous ? (accord collectif)
- « J'avais déjà mis en place la démarche d'investigation mais je vais m'appuyer sur ce qu'on a fait : se poser des questions. Je vais me baser sur ce qu'on a fait pour me poser des points de repères. » (2605)
- « Ce que j'ai retenu dans ce stage, c'est partir d'une question. (2621) / Une question bien formulée. » (2622)
- « J'ai mis qu'on fait d'abord s'interroger les élèves. J'allais souvent trop vite par rapport au processus. » (2632)
- « Donc un scientifique c'est quelqu'un qui suit une démarche en s'interrogeant sur quelque chose. » (2638)

Les questions posées aux PE1 et aux participants de la formation FC 12h les invitent à répondre en s'appuyant directement sur leur vécu en formation. Leurs réponses intègrent alors majoritairement le fait de se poser une question avant de réaliser des expériences pour y répondre mais ne fournissent pas d'éléments supplémentaires exploitables.

La faible évolution des étudiants de master EEF est difficile à interpréter. Les étudiants ont vécu les mêmes démarches d'investigation que les PE1 sondés

pour lesquels l'évolution est nette ; les questions sont similaires à celles posées au groupe 14 (SF). Il est possible que le contenu purement notionnel du concours ait un impact sur les éléments sur lesquels ils se focalisent, à savoir les réponses plutôt que les questions (cf. 1.2.2. et 1.2.4.).

1.2.6. Synthèse

La démarche d'investigation a un effet sur le rapport à l'expérience, à l'autorité et à l'opportunité des participants (Tableau 1.2.6.).

Formation (nb. stagiaires)	M1EEF (75, 81) gr. 32-37		PE1 (36, 31-17) gr. 20-27		SF (14) gr. 14		FC 12h (10) gr. 29		FC 17h (12,10) gr. 38	
Réponses évoquant explicitement l'expérience Avant Après D.I.	62%	85%	77%	77-85%	47%	72%	40%	90%	75%	Non Chiffré
L'expérience sert à valider une hypothèse (U1) Avant Après D.I.	32%	65%	36%	59-64%	27%	36%	10%	70%	67%	Non Chiffré
Association de la science à un questionnaire Avant Après D.I.	21%	36%	17%	71-76%	33%	79%	30%	60%	58%	Non Chiffré
Modification du rapport à l'Autorité					64%				++	
Expression d'une modification du rapport à la Démarche scientifique	77%		82%		81%				80%	

Tableau 1.2.6. : Evolution des réponses des différents groupes dans leur rapport à l'expérience, au questionnaire, à l'autorité et à la démarche scientifique avant et après D.I.

Telle qu'on la pratique, les objectifs de la D.I. sont de permettre aux participants de trouver des réponses aux questions qu'ils se posent en substituant à l'argument d'autorité le recours à l'expérience.

On retrouve ces éléments chez les participants. Ils sont ainsi beaucoup plus nombreux en fin de formation à associer les sciences à une démarche et à associer aux sciences le fait de répondre à un questionnaire. Ils acceptent moins facilement l'argument d'autorité et sont plus nombreux à considérer que l'expérience permet de valider ou non des hypothèses.

Ces résultats confirment l'efficacité d'une pédagogie en démarche d'investigation pour modifier le rapport à l'expérience, à l'autorité et à l'opportunité.

6.2. Représentations spontanées de la science chez les enseignants

Les représentations de la science véhiculées par les enseignants et l'influence de celles-ci sur leur enseignement sont largement étudiées dans le monde anglo-saxon.²² Ces études ont en particulier établi que certaines représentations de la science constituent un obstacle à la mise en œuvre de démarches d'investigation dans leurs classes.²³

Or les représentations spontanées de la science des enseignants du primaire français restent mal connues. Cette section se propose de documenter celles d'un échantillon de 1163 enseignants et futurs enseignants.²⁴ Dans un premier temps, on dégagera les profils épistémologiques des enseignants sondés (6.2.1.). Dans un second temps, on cherchera les critères de scientificité utilisés par les enseignants pour caractériser la science (6.2.2.). Un bilan clôturera la section (6.2.3.).

6.2.1. PROFILS EPISTEMOLOGIQUES

Aux philosophes, nous réclamerons le droit de nous servir d'éléments philosophiques détachés des systèmes où ils ont pris naissance
Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*²⁵

Un tel projet se heurte à deux difficultés de principe : d'une part, les enseignants constituent une population hétérogène, et rien ne garantit *a priori* qu'on puisse dégager des tendances significatives dans leurs représentations de la science ; d'autre part, la science elle-même constitue un ensemble très hétérogène, dont chacun ne construit pas *une* représentation homogène, mais tout un ensemble de représentations dépendant du contexte et de l'aspect de la science concerné.

La seconde de ces difficultés est bien connue, et Gaston Bachelard a développé pour la prendre en compte la notion de *profil épistémologique*, qui caractérise en quelque sorte le « *profil mental* » d'un individu au regard d'un concept donné.²⁶ Le même outil fournit par ailleurs des indications sur la première difficulté, par comparaison des profils épistémologiques des différents membres de la population considérée.

Idéalement, dresser le profil épistémologique d'un individu à propos d'une notion donnée suppose donc non seulement que l'évaluateur maîtrise lui-même cette notion, mais qu'il a accédé à son propos à une posture surrationaliste. Cela suppose

22. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future » in S.K. Abell and N.G. Lederman (dir.), *Handbook of Research on Science Education*, Lawrence Erlbaum éd., U.S.A., 2007, pp. 831-880.

23. Voir par exemple la corrélation établie par Daniel K. Capps et Barbara A. Crawford entre une représentation "naïve" de la science et la mise en place de démarches d'investigation "pauvres". Daniel K. Capps & Barbara A. Crawford (2013). Inquiry-Based Instruction and Teaching About Nature of Science : Are They Happening ? *Journal of Science Teacher Education*, 24 (3), pp. 497-526.

24. Gp. 1-18, 20-29, 32-38, 45, 50, 52-54, 57-58, 62-65, 67 selon la nomenclature du chapitre 4 L'ensemble des groupes d'enseignants et futurs enseignants participant à cette étude est disponible dans la section méthodologie 4.2.1.4.3.

25. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*, 1940, éd. PUF, 2008, p. 11.

26. *idem*, p. 42.

par ailleurs une évaluation fine des compétences de cet individu. De ce fait, Bachelard s'offre le plus souvent lui-même en exemple²⁷.

2.1.1. Profils et catégories épistémologiques de Bachelard

Bachelard considère tout d'abord une hiérarchie des diverses « *philosophies dans l'œuvre de la connaissance* »²⁸ allant du *réalisme naïf* au *rationalisme discursif* (qu'il appelle également *surrationalisme*²⁹) en passant par *l'empirisme clair et positiviste*, le *rationalisme classique* et le *rationalisme complet*.

Il considère ensuite que l'accès (souhaitable) à la plus sophistiquée de ces catégories, le rationalisme discursif, implique souvent qu'on soit passé par les autres catégories moins sophistiquées, un individu étant conduit à « *expérimenter les ouvertures du rationalisme les unes après les autres.* »³⁰ Un sujet peut donc, tout en accédant à propos d'un concept donné à la catégorie épistémologique la plus sophistiquée, conserver en proportions variées des attitudes relevant des autres catégories, ce que Bachelard exemplifie en réalisant son propre profil épistémologique relatif au concept de masse.

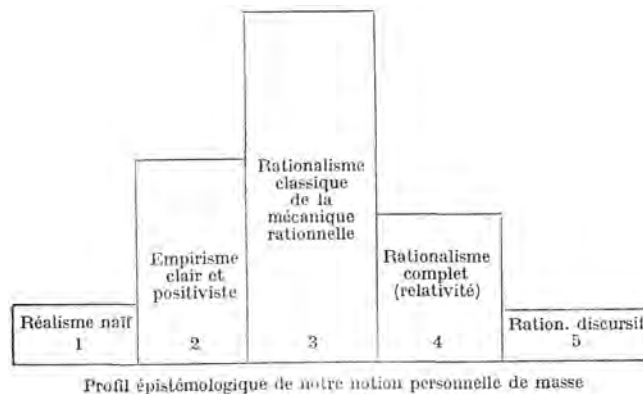


Fig. 1

Diagramme 2.1.1.a. : Profil épistémologique de G. Bachelard au regard de la notion de masse³¹

Il considère enfin, d'une part, que tous les concepts scientifiques n'ont pas atteint la même maturité à un moment donné de l'histoire des sciences ; et, d'autre part, qu'un individu donné peut avoir une compréhension plus ou moins sophistiquée de différents concepts. En conséquence, un profil épistémologique s'établit pour un concept donné. Un même individu peut posséder des profils épistémologiques différents pour différents concepts. Ainsi, son profil épistémologique personnel relatif au concept de masse (2.1.1.a.) diffère-t-il de celui relatif au concept d'énergie (2.1.1.b.).

27. Ce qui ne va pas sans poser un problème méthodologique, que nous n'analyserons pas ici. Voir par exemple Catherine De Lavergne, « La Posture du praticien-chercheur : un analyseur de l'évolution de la recherche qualitative », in *Recherches Qualitatives*, op. cit.

28. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*, op. cit., p. 42.

29. Gaston Bachelard, « Le Surrationalisme », in *L'Engagement rationaliste*, éd. PUF, Paris, 1972, pp.7-12.

30. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*, op. cit., p. 43.

31. *idem*.

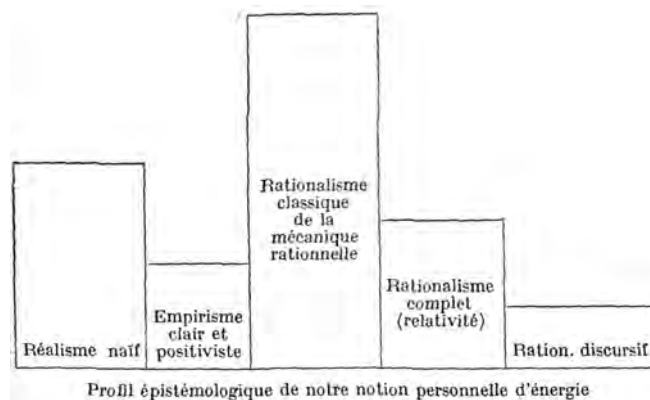


Fig. 2

Diagramme 2.1.1.b. : Profil épistémologique de G. Bachelard au regard de la notion d'énergie³²

Avec cet outil, Bachelard, qui s'adresse avant tout aux spécialistes de la connaissance scientifique, vise à « rappeler chacun au pluralisme de la culture scientifique », ³³ mais aussi à la singularité de chaque parcours de formation, dans la mesure où « un profil épistémologique garde la trace des obstacles qu'une culture a dû surmonter » ^{34,35}.

La construction de profils épistémologiques implique donc une réflexion sur la construction des connaissances scientifiques et des obstacles franchis pour y parvenir. À une catégorie philosophique du profil est en effet associée une perception par un individu de la notion considérée qui correspond à une étape dans l'élaboration et la maturation de cette notion.

Ainsi, le **réaliste naïf** ne remet-il pas en question l'existence d'une réalité dont la perception et la représentation ne dépendent pas de l'observateur. Cette posture épistémologique, que Bachelard associe à une « appréciation quantitative grossière et comme gourmande de la réalité », correspond souvent à l'une des toutes premières perceptions d'une notion, en particulier chez les enfants.

L'**empiriste clair et positiviste** est quant à lui conscient du rôle de la théorie dans la représentation d'une notion, et considère que « l'expérience est une référence nécessaire et suffisante pour légitimer toute théorie ». Un individu est également dans une posture d'empiriste clair et positiviste lorsque pour lui l'étude d'une notion est liée à l'idée « d'objectivité expérimentale », lorsque « l'instrument précède la théorie » ou lorsque la notion se définit « comme un élément primitif d'une expérience immédiate et directe ».

Pour Bachelard, on devient **rationaliste classique** vis à vis d'une notion lorsqu'on considère que la connaissance qu'on en a dérive d'abord de la raison, informée ou non par l'expérience ; typiquement « à l'usage simple et absolu d'une notion fait suite l'usage corrélatif des notions [...] dans un rapport clairement rationnel puisque ce rapport est parfaitement analysé par les lois rationnelles de l'arithmétique ».

On franchit le cap du **rationalisme complet** lorsque le rationalisme « est touché par la notion de relativité : une organisation est rationnelle relativement à un corps de notions. Il n'y a pas de raison absolue. »

32. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*, op. cit., p. 45.

33. *idem*.

34. *idem*, p. 51.

35. L'utilisation de profils épistémologiques dans le domaine de la didactique des sciences n'est pas nouvelle. On trouve ainsi une adaptation de l'outil bachelardien chez Eduardo F. Mortimer. Mortimer (1995). Conceptual change or conceptual profile change ? *Science and Education*, 4 (3), pp.267-285.

Enfin, le **rationalisme discursif** est un « *rationalisme ouvert* » dans lequel une notion est dialectisée par la mise en marche d'une « *philosophie dialectique du "pourquoi pas ?"* »³⁶

2.1.2. Adaptation de l'outil à l'étude

Nous empruntons la notion bachelardienne de profil épistémologique pour construire les profils individuels relatifs à la notion de science d'un large échantillon d'enseignants et futurs enseignants.

Ces profils sont établis sur la base de leurs réponses à un questionnaire comportant de deux à quatre questions relatives à la nature de la science.³⁷

2.1.2.1. Adaptation des catégories bachelardiennes

Dans un premier temps, on s'appuie sur les catégories proposées par Bachelard pour réaliser les profils épistémologiques des 777 participants³⁸ dont les réponses le permettent.³⁹

Une première différence avec l'approche bachelardienne consiste en l'évaluation des profils, qui est le fait du praticien-chercheur et s'applique à d'autres personnes, *via* leurs réponses courtes (de l'ordre de quelques lignes) au questionnaire. Elle est donc à la fois plus objective et plus grossière que celles de Bachelard.

Une conséquence inévitable en est une caractérisation moins fine des catégories épistémologiques. Tout en en conservant l'esprit et la hiérarchie, on est donc amené à élargir les catégories, et à les redéfinir pour permettre leur identification rapide à partir de ces réponses.

— **Réalisme naïf** : On considèrera qu'un participant exprime une forme de réalisme naïf lorsque ses formulations suggèrent, sans distanciation particulière, une réalité physique qu'il serait possible de décrire directement ou la possibilité de comprendre le monde qui nous entoure.

Exemple de réponse caractéristique d'un profil de réaliste naïf pur (étudiant 77, gp. 10) :

« *Quelque chose est scientifique quand elle touche aux choses de la terre, aux phénomènes naturels. La science explique les choses, elle est concrète. Un scientifique est un homme de recherche, qui trouve (la plupart du temps) des réponses à des questions essentielles sur la nature, sur le fonctionnement de la vie etc. Un scientifique se rattache à un monde concret, il est « terre à terre » et n'accorde aucun crédit au surnaturel.* »

— **Empirisme**⁴⁰ : On considèrera qu'un participant exprime une forme d'empirisme lorsque ses formulations suggèrent d'une manière ou d'une autre une démarche hypothético-déductive débouchant sur la

36. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*, op. cit., pp. 22 à 32.

37. cf. méthodologie § 4.2.1.8.2.

38. Gp. 5-18, 20-23, 26-27, 29, 32-36, 38, 45, 50, 52, 54, 57-58, 62-64, 67, selon la nomenclature du chapitre 4 (§ 4.2.1.4.3.).

39. En tout, 1163 questionnaires ont été recueillis et traités. On ne retient pour cette étude préliminaire que ceux visant à recueillir les représentations de la science (par opposition à son enseignement).

40. Compte tenu de l'élargissement de cette catégorie, on renonce aux qualificatifs de "clair" et "positiviste".

construction de loi, ou même, dans un sens plus pauvre de la posture empiriste, la simple nécessité de mettre en place des expériences.

Exemples de réponses caractéristiques de profils d'empiristes purs :

- « *Un scientifique a conscience de l'apparence trompeuse de ce qui nous entoure. Il s'interroge en construisant une expérience capable de mettre en évidence la validité ou la non validité d'une hypothèse. Le scientifique se doit de mettre en évidence des relations de causes à effets* ». (enseignant 291, gp. 15)
- « *Un scientifique est une personne qui cherche des solutions logiques et rationnelles à des problèmes posés à l'aide d'expériences et de mesures précises.* » (enseignant 538, gp. 21)

— **Rationalisme classique** : L'interprétation bachelardienne de la notion de rationalisme est très exigeante, et s'applique essentiellement à des esprits de haute culture scientifique. Ici, dans une vision très large du rationalisme classique, on se contentera d'une mise en avant de la raison (par opposition à l'expérience), par exemple lorsqu'un sujet évoque pour définir la science la mise en rapport d'éléments de nature différente ou l'établissement de lois ou de théories.

Exemples de réponses de l'étudiant 24 (gp. 12) et de l'enseignant 304 (gp. 15) conduisant à leur attribuer un profil de rationaliste pur :

- « *Quelque chose est scientifique si des « lois scientifiques » peuvent expliquer ce phénomène, si on peut expliquer son origine, son fonctionnement de façon certaine, objective. Un scientifique est une personne qui analyse des phénomènes en établissant des lois.* » (24)
- « *Tout objet est scientifique par définition, cela dépend du regard que l'on pose sur lui. Un scientifique analyse le monde, les relations, les objets en suivant une démarche de questionnement, analyse du rapport des objets, des notions les unes vis à vis des autres.* » (304)

Pour les catégories épistémologiques les plus sophistiquées, **Rationalisme complet** et **Rationalisme discursif**, on conserve le niveau d'exigence considéré par Bachelard, dans la mesure où il est difficile de les élargir sans les confondre, entre elles et avec le rationalisme classique.

Une seconde conséquence de cette technique de profilage *via* des réponses courtes est le caractère arbitraire des proportions affectées aux différentes catégories dans les profils "complexes", qui présentent une part inévitable de subjectivité. Cette difficulté était identifiée par Bachelard, qui note « *l'importance relative des convictions* »⁴¹. On se contentera donc de cinq pondérations possibles⁴² : une unique catégorie (profils "purs", 100%) ; plusieurs catégories de même poids (2 x 50% ; 3 x 33%, etc.) ; une catégorie majoritaire et une autre minoritaire (66% / 33%).

2.1.2.2. Catégories et profils spécifiques

Sans entrer encore dans le détail de la variété de combinaisons offertes par cet outil,⁴³ on identifie dans un premier temps les participants pour lesquels il est

41. Gaston Bachelard, *La Philosophie du non*, op. cit., p. 43.

42. La somme des coefficients étant arbitrairement fixée à 1 (100%).

43. Soit 50 combinaisons possibles, pour 5 catégories, en considérant les profils avec une unique catégorie, ceux avec une catégorie majoritaire et une minoritaire, ceux avec deux catégories en mêmes proportions, ceux avec trois catégories en même proportion et ceux avec 4 catégories en même proportion. cf. Méthodologie § 4.2.1.6.1.

possible de dégager un profil. En l'état, les catégories définies ci-dessus permettent de profiler 71% des participants, 29 % s'avérant *inclassables en ces termes*.

Dans un souci de simplicité, on se contente à ce stade d'une répartition basique par profils "majoritaires", sans distinguer les profils "purs" de ceux intégrant une composante minoritaire, ni s'attacher encore à l'identification de cette dernière. Les profils mixtes comportant 50% d'empirisme ont également été intégrés à la catégorie "empirisme majoritaire". (diagramme 2.1.2.2.a.)

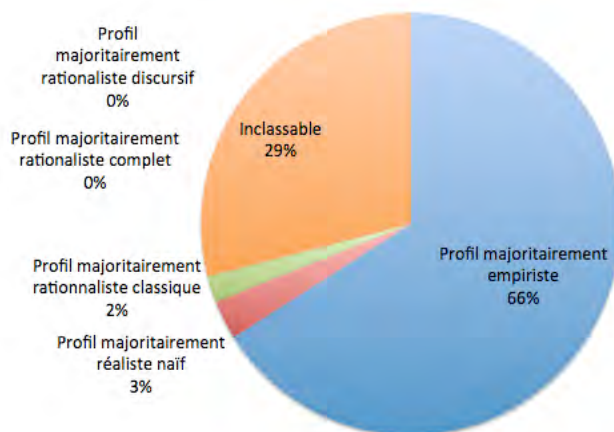


Diagramme 2.1.2.2.a. : Répartition majoritaire des participants selon les catégories bachelardiennes élargies

Pour cette population, les catégories *rationalisme complet* et *rationalisme discursif* sont *totalement absentes* des profils épistémologiques relatifs à la notion de "science", aucun participant ne présentant d'indications de postures en relevant, même de façon minoritaire.

Ce résultat n'est pas très surprenant dans la mesure où ces catégories supposent une réflexion approfondie sur la nature de la science, que l'on n'attend généralement pas de la part d'enseignants généralistes *a priori* peu concernés par la philosophie des sciences ou l'élaboration de nouvelles connaissances scientifiques.

On élimine donc ces deux catégories vides du traitement des profils épistémologiques des participants.

Réponses récursives

Le taux encore très élevé de réponses inclassables avec les catégories bachelardiennes initiales (29 %) suggère par ailleurs de remplacer les deux catégories essentiellement vides par des catégories mieux adaptées aux enseignants et futurs enseignants.

Un retour sur ces inclassables met en évidence la fréquence de *formulations récursives*, définissant la science ou les scientifiques par leur nature "scientifique".

Exemple de formulation récursive (étudiant 663, gp. 27) :

- Comment faites-vous pour savoir que quelque chose est scientifique ?
- « S'il fait partie du domaine des sciences, si l'on a affaire à une démarche scientifique : questionnement, hypothèses, expériences, calcul. »

Que cette approche récursive de la nature de la science résulte d'une logique circulaire, d'un simple refus d'obstacle, ou (moins probablement...) d'une tentative d'ontologisation de la science, cette tendance n'en apparaît pas moins assez massive et significative pour être intégrée comme une catégorie supplémentaire pour définir les profils des participants au regard de la notion de science.

On se retrouve alors avec 4 catégories (les 5 catégories bachelardiennes, moins les rationalismes complet et discursif, plus une composante récursive) à disposition pour construire les profils : approche récursive, réalisme naïf, empirisme, rationalisme⁴⁴. Cet ajout permet alors de *réduire le nombre de réponses inclassables à 16%*⁴⁵ (diagramme 2.1.2.2.b.).

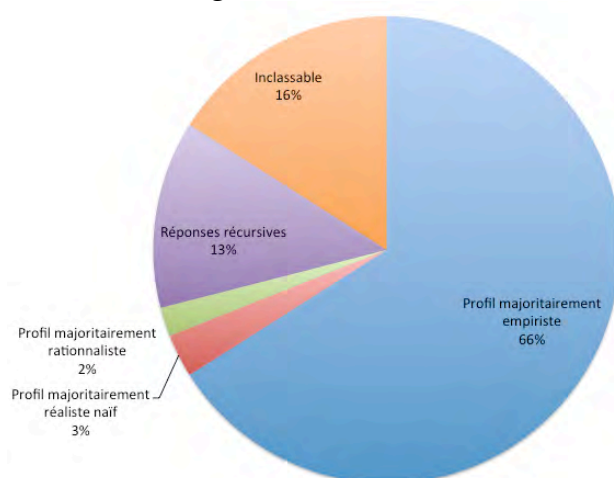


Diagramme 2.1.2.2.b. : Répartition majoritaire des participants après ajout de la catégorie récursive

Approche apodictique

La lecture des 16% de réponses inclassables restantes met par ailleurs en évidence nombre de références à la possibilité de réaliser des *démonstrations* et d'établir des *preuves*, sans allusion à des expériences mais avec la possibilité d'accéder à une *vérité*.

Cette approche archaïque⁴⁶ de la science peut être qualifiée d'*apodictique*, au sens de la science aristotélicienne (cf. § 2.3.1.1.). Dans la mesure où elle est largement incompatible à la fois avec l'approche empiriste,⁴⁷ et avec

44. Qu'il ne semble désormais plus pertinent de qualifier de "classique", les formes plus sophistiquées de rationalisme ayant été éliminées, et la catégorie bachelardienne initiale significativement élargie pour l'adapter au public de l'étude.

45. Les proportions de profils relevant majoritairement de l'une des catégories bachelardiennes restent inchangées même si l'introduction d'une nouvelle catégorie permet une identification plus fine de la composante minoritaire.

46. On évite délibérément le qualificatif de "naïve", pour le réserver à la catégorie du "réalisme naïf".

47. Là où l'approche apodictique se contente souvent d'une référence incantatoire à des "preuves" ou à des "démonstrations", ou au mieux d'un appel à la "logique", l'approche empirique, ou hypothético-déductive suppose leur mise à l'épreuve expérimentale, dans toute la mesure du possible. On distingue donc nettement dans les réponses les références à la notion de "démonstration expérimentale", qu'on considère comme un indice d'une approche empiriste de la science même lorsqu'elles ne sont pas explicitement associées à des références à la "méthode expérimentale", des simples références à des "démonstrations", sans explicitation.

l'approche rationaliste (au sens moderne), on ne la traitera pas comme une catégorie épistémologique susceptible d'être combinée avec les précédentes, mais comme un profil spécifique, qu'on qualifiera (en ce sens restreint) d'*aristotélicien*, caractérisant les réponses purement apodictiques (5% de l'ensemble des réponses).

Exemple de profil "aristotélicien pur" (étudiant 136, gp. 8)

- *C'est basé sur un raisonnement, quelque chose que l'on peut démontrer, une démarche. Un scientifique est quelqu'un qui fait de la recherche, démontre, explique comment les choses fonctionnent.*

Par ailleurs, les nombreuses réponses associant approches apodictique et récursive nous incitent à prendre en compte un profil complémentaire "d'*aristotélicien récursif*" (4 %).

Exemple de profil "aristotélicien récursif" (étudiant 560, gp. 22)

- *Quelque chose est scientifique quand il s'agit d'un savoir objectif: ce peut être démontré, prouvé de façon mathématique, physique. En outre, il peut s'agir des sciences humaines quand cette chose a réellement existé ou existe. Un scientifique est une personne qui prouve, démontre sa thèse avancée. Il essaye de défendre la vérité, celle qui appartient aux sciences.*

L'introduction de ces deux profils supplémentaires permet de réduire le taux de réponses inclassables à 7% (cf. diagramme 2.1.2.2.c.).

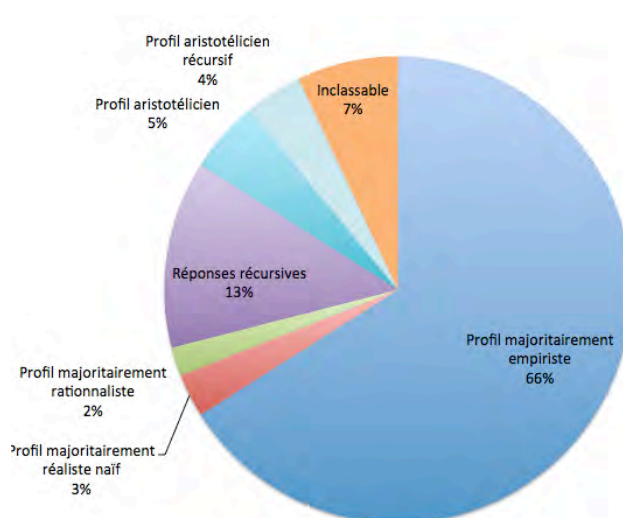


Diagramme 2.1.2.2.c. : Proportion des différents profils en ajoutant les profils aristotélicien et aristotélicien récursif

Curiosité et découverte

Enfin, on observe des variations fréquentes autour des termes de *curiosité* et de *découverte*. Ils apparaissent parfois dans un cadre que l'on a qualifié d'empiriste mais très souvent aussi sans autre justification qu'eux-mêmes. On introduit donc un profil "exploratoire". L'introduction de ce profil supplémentaire permet de réduire le taux de réponses inclassables à 4% (diagramme 2.1.2.2.d.).

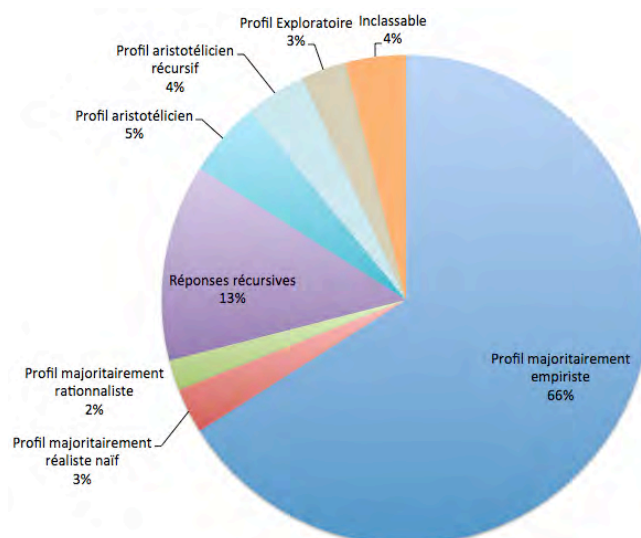


Diagramme 2.1.2.2.d. : Proportion des différents profils en ajoutant le profil Exploratoire

À ce stade, il n'apparaît plus dans les dernières réponses inclassables restantes d'élément saillant. On considère acceptable un taux d'échec de 4% dans le profilage.

2.1.2.3. Outil finalisé

Après adaptation de l'outil au public enseignant du primaire, on dispose d'un jeu de 30 profils types, représentatif de plus de 95% des réponses :

- 27 profils types correspondant à toutes les combinaisons possibles, au niveau de précision considéré,⁴⁸ des quatre catégories principales : réalisme naïf, approche récursive, empirisme et rationalisme, qu'on peut représenter sous la forme d'un diagramme de Bachelard.
- un profil type "aristotélécien"
- un profil type "aristotélécien récursif"
- un profil type "curiosité, découverte"

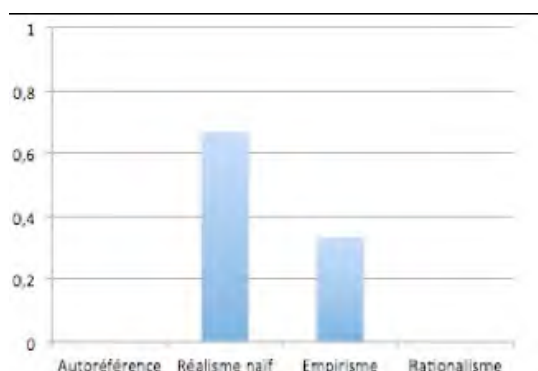


Figure 2.1.2.3. : Exemple de profil majoritairement réaliste naïf avec une composante empiriste

48. Avec, pour mémoire, cinq pondérations possibles : profils purs (100%) ; une composante majoritaire et une minoritaire (66%/33%) ; équipartition avec deux, trois ou quatre composantes (50%/50%, 33%/33%/33% et 25%/25%/25%/25%).

2.1.3. Profils épistémologiques des enseignants et futurs enseignants

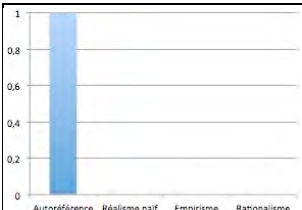
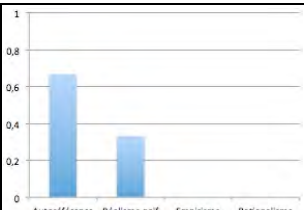
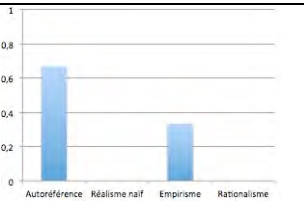
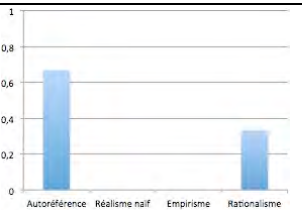
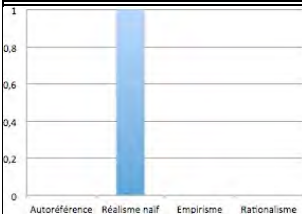
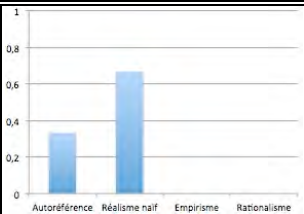
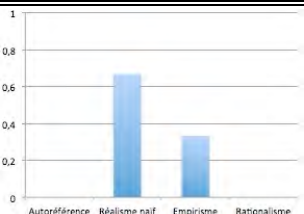
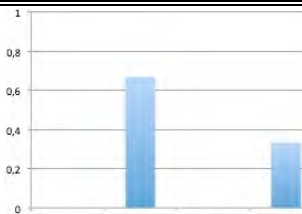
2.1.3.1. Résultats globaux

On réalise donc les profils épistémologiques des 777 participants considérés.

Le profil empiriste pur apparaît très nettement dominant (52%).

Les profils autres que “empiriste pur” sont dispersés sur l’ensemble des groupes de participants.⁴⁹ Aucun ne dépasse les 7%.

Les profils types les plus peuplés sont ensuite le profil “purement récuratif” (7%), les profils associant empirisme et réponse récurative (11,7% au total) et les profils aristotéliens (9,1%). 15 profils types, dont 7 sont vides, sont occupés par moins de 7 participants (moins de 1%) et 6 autres accueillent moins de 2% des participants. En tout 87,9% des participants se retrouvent répartis sur 30% des profils initiaux (9 profils). Les tableaux 2.1.3.1.a. à c. détaillent le nombre de participants pour chacun des profils considérés, ainsi que leur pourcentage et un exemple de réponse. Les profils types ont été classés par catégorie dominante pour faciliter la lecture (e.g. première ligne, profils où la catégorie réponse récurative est majoritaire). Les résultats détaillés pour chaque groupe de participants sondés sont disponibles en annexe 6.B.b.

 Réponse récurative pure <i>Un scientifique : personne qui “fait” des sciences ! Un physicien, c’est quelqu’un qui fait des recherches, des études sur un sujet (ou plusieurs) touchant aux thèmes de la physique. (étudiant 853, gp. 34)</i>	 Réponse récurative majoritaire + Réalisme naïf <i>Qui fait des recherches sur les domaines de la science. Quelque chose est scientifique lorsque c’est exact. C’est lorsqu’on suit une démarche objective, concrète. Lorsqu’il n’y a pas d’autres réponses que celles apportées. (étudiant 138, gp. 8)</i>	 Réponse récurative majoritaire + Empirisme <i>Qui travaille dans un laboratoire, qui a de grandes connaissances dans le domaine scientifique, chimique et technologique. Il peut faire des expériences scientifiques afin d’améliorer certains domaines (étudiant 862, gp. 34)</i>	 Réponse récurative majoritaire + Rationalisme <i>Un scientifique est un homme qui mène des recherches dans des domaines variés, math, sciences diverses. Qq. chose est scientifique lorsqu’on utilise une réflexion réfléchie, raisonnée comme démarche de recherche. (étudiant 36, gp. 12)</i>
55 (7%)	2	29 (3,7%)	8 (1%)
 Réalisme naïf pur	 Réalisme naïf majoritaire + réponse récurative	 Réalisme naïf majoritaire + Empirisme	 Réalisme naïf majoritaire + Rationalisme

49. Il ne semble pas apparaître de corrélation nette entre un type de profil et les paramètres caractéristiques des différents groupes (âge, diplôme, nationalité, etc.). Leur étude plus rigoureuse sortirait toutefois du cadre de cette étude.

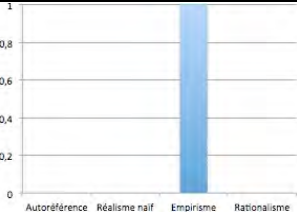
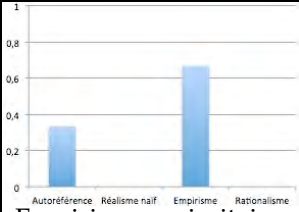
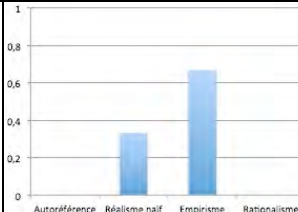
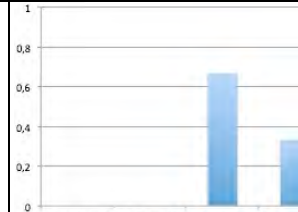
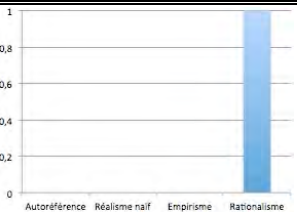
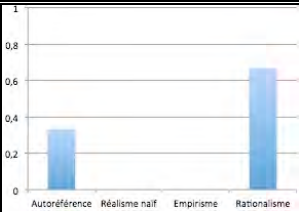
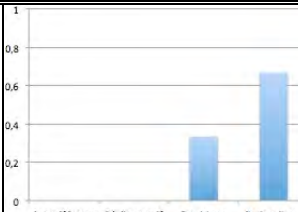
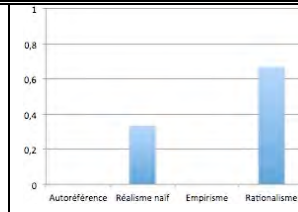
Un scientifique analyse des éléments qui nous entourent. Il possède un savoir et un désir de recherche, il étudie des éléments que les autres hommes ne réfléchissent pas comme la nature, les bases de notre existence. Son savoir s'appuie sur des réflexions et des études aboutissant à une vision réelle de notre monde et des ses composants. (étudiant 636, gp. 26)	C'est sur un thème ou notion qui est en rapport avec la nature ou la physique. C'est fait par des chercheurs. C'est une personne qui étudie des faits, qui cherche pourquoi (causes) les faits, comment ils se forment (paramètres) et les conséquences (avenir) (étudiant 177, gp. 13)	La science c'est l'explication réelle de ce qui se passe sur la planète Terre et la recherche de ces phénomènes. Ce qui n'est pas scientifique applique moins de règles et est moins objectif. C'est une discipline qui se base sur les phénomènes naturels et qui peut les expliquer par des expériences qui s'y rapprochent au plus (plus proche possible de la réalité) (étudiant 1128, gp. 58)	Ce qui est scientifique est concret et répond à une démarche, une méthode. Pour tout ce qui est scientifique, on peut établir une règle. Est une personne qui cherche des explications aux phénomènes naturels. (étudiant 230, gp. 13)
12 (1,5%)	3	7 (1%)	3
 Empirisme pur Quelque chose qui se démontre avec des expériences. Un scientifique expérimente pour pouvoir proposer des pistes de travail. (enseignant 296, gp. 15)	 Empirisme majoritaire + Réponse récursive A partir du moment où elle peut faire l'objet d'observations, d'expérimentations de manipulations et/ou qui permet d'observer des transformations. Qui fait des sciences. Va faire inter agir différents éléments afin d'observer les réactions obtenues et de dégager des propriétés. (enseignant 295, gp. 15)	 Empirisme majoritaire + Réalisme naïf Un fait scientifique est un fait concret qui traduit un phénomène, une manifestation que l'on cherche à étudier. C'est une personne qui cherche des réponses à expliquer des faits scientifiques, qui pratique des expériences. (étudiant 78, gp. 10)	 Empirisme majoritaire + Rationalisme Un fait scientifique est obtenu par expériences et preuves. Il doit être accepté par la communauté scientifique. Est un chercheur qui tente d'expliquer le monde qui nous entoure de façon rationnelle. (étudiant 90, gp. 10)
406 (52%)	46 (6%)	7 (1%)	16 (2%)
 Rationalisme pur Les sciences prennent souvent pour données des chiffres, elles s'appuient dessus pour émettre des hypothèses et fonder des lois. Elles tentent souvent aussi de rationaliser un phénomène, d'en comprendre les mécanismes pour pouvoir les expliquer. Un document qui remplit une de ces fonctions est scientifique à mes yeux. (étudiant 836, gp. 33)	 Rationalisme majoritaire + Réponse récursive Quelqu'un qui s'appuie sur la science pour démontrer ou prouver un fait. Il peut être chimiste, physicien, mathématicien, biologiste, géologue. Il peut travailler dans un laboratoire, enseigner à la faculté, ou les deux. On peut le prouver, le démontrer par une règle mathématique, chimique, une théorie physique. (étudiant 525, gp. 20)	 Rationalisme majoritaire + Empirisme Tout d'abord cela se rapporte à une démarche scientifique avec à la clé une théorie, une nouvelle conception d'un fait existant à l'aide d'arguments. Un scientifique est une personne qui cherche à comprendre les éléments qui l'entourent. Pour cela il cherche, argumente et établit des hypothèses. (étudiant 12, gp. 5)	 Rationalisme majoritaire + Réalisme naïf
6	2	5	0

Tableau 2.1.3.1.a. : Répartition des 777 participants selon les différents profils à composante majoritaire. Pour chaque profil envisagé, de haut en bas : Diagramme de Bachelard, résumé du profil, exemple de réponse justifiant le classement correspondant, nombre et pourcentage (entre parenthèses) de participants présentant le profil.

77% des profils d'enseignants et futurs enseignants présentent une catégorie majoritaire. Parmi celles-ci, la catégorie empiriste est de très loin dominante puisqu'on la trouve dans 61% des profils.

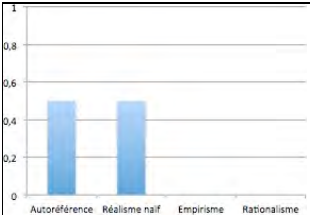
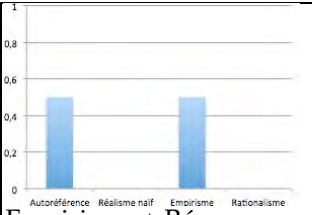
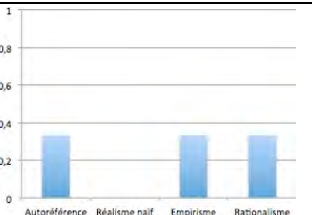
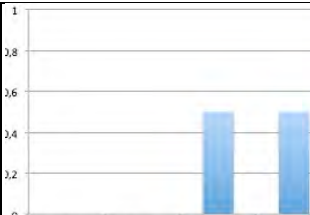
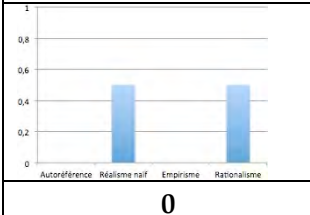
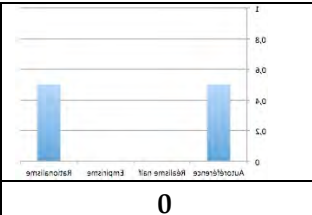
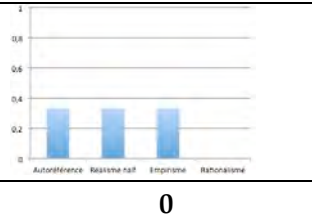
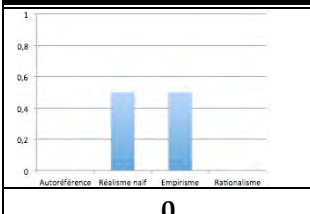
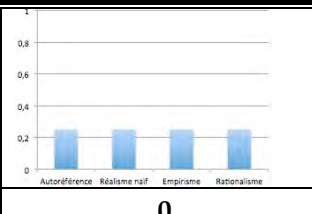
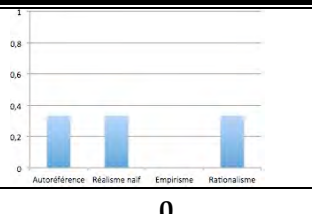
 Réponse récursive + Réalisme naïf Tout est scientifique : tout objet est fait de matière, celle-ci constituée d'atomes obéissant à des lois physiques. Un scientifique est une personne dont le métier est dédié à la science : cela peut être un chercheur en biologie, un professeur de mathématiques, un ingénieur... (étudiant 183, gp. 13)	 Empirisme + Réponse récursive Quelque chose est scientifique si cela résulte de rapports avec la science : biologie, géologie, physique, chimie... Un scientifique est quelqu'un qui étudie les sciences ; qui étudie des phénomènes à partir d'expériences. (étudiant 117, gp. 9)	 Empirisme + Réponse récursive + Rationalisme Si cette chose est en rapport avec les sciences : mathématiques, physique, chimie, sciences de la vie et de la terre. Cette chose peut servir dans une expérience ou à prouver une théorie. Qui fait des recherches et des expériences afin d'aboutir à un résultat. C'est aussi quelqu'un qui va prouver une théorie. (étudiant 534, gp. 20)	 Empirisme + Rationalisme Est scientifique quelque chose qui confronte le raisonnement à l'expérimentation et inversement. Une personne qui cherche à donner une explication rationnelle à un phénomène. (étudiant 237, gp. 13)
6	15 (2%)	4	24 (3%)
			
0	0	0	
			Refus de réponse
0	0	0	2

Tableau 2.1.3.1.b. : Répartition des 777 participants selon les différents profils sans composante majoritaire. Pour chaque profil envisagé, de haut en bas : Diagramme de Bachelard, résumé du profil, exemple de réponse justifiant le classement correspondant, nombre et pourcentage (entre parenthèses) de participants présentant le profil.

Profil exploratoire <i>Est essentiellement curieux, observateur qui cherche toujours le pourquoi des choses. (enseignant 331, gp. 15)</i>	Inclassable	Aristotélécien <i>Quelque chose qui est explicable, vérifiable par une démonstration et qui se base sur des faits. Quelqu'un qui suit une démarche de réflexion, démonstration (vérification) et conclusion (étudiant 252, gp. 13)</i>	Aristotélécien récuratif <i>Si elle concerne les sciences, c'est à dire si il y a eu une preuve (fait scientifiquement prouvé). Quelqu'un qui a une démarche scientifique un raisonnement par la preuve. (étudiant 222, gp. 13)</i>
22 (2,8%)	25 (3,2%)	39 (5%)	32 (4,1%)

Tableau 2.1.3.1.c. : Répartition des 777 participants selon les différents profils. Pour chaque profil envisagé, de haut en bas : nom du profil, exemple de réponse justifiant le classement correspondant, nombre et pourcentage (entre parenthèses) de participants présentant le profil.

Très peu d'enseignants et futurs enseignants ont des profils équilibrés sur deux ou trois catégories (5%) et ceux sont les profils avec une catégorie empiriste qui sont comme précédemment les plus occupés. On peut noter le bon taux de retour de ce questionnaire, seuls 2 participants sur 777 ayant refusé d'y répondre.

On se propose maintenant de dégager à partir des profils réalisés les représentations de la science dominantes chez les enseignants et futurs enseignants.

2.1.3.2. Empiristes

Les enseignants apparaissent très majoritairement empiristes, dans le sens très large que nous avons donné à ce terme. Ils associent typiquement la science, avant tout, au fait de faire des expériences pour construire des lois.

Ainsi, on trouve une composante empiriste chez 560 participants sur 777 soit 72% des participants. Parmi ceux-ci, 73% ont un profil d'empiriste pur et 12% un profil majoritairement empiriste. La catégorie empiriste domine donc chez 85% des participants qui l'intègrent à leurs profils (soit 66% de l'ensemble).

Empiristes purs	52% (404)
Empiristes majoritaires	9% (70)
Empiristes mixtes	5,6% (44)
Empiristes minoritaires	5,3% (42)
Non empiristes	28,1% (217)
Nb. total de participants	777

Tableau 2.1.3.2.a. : Répartition des différents profils empiristes sur la population sondée (777 part.)

On constate également une part importante d'autoréférence chez les enseignants et futurs enseignants empiristes (16%). La proportion des participants empiristes présentant une composante rationaliste est revanche faible : 8% du total (diagramme 2.1.3.2.b.).

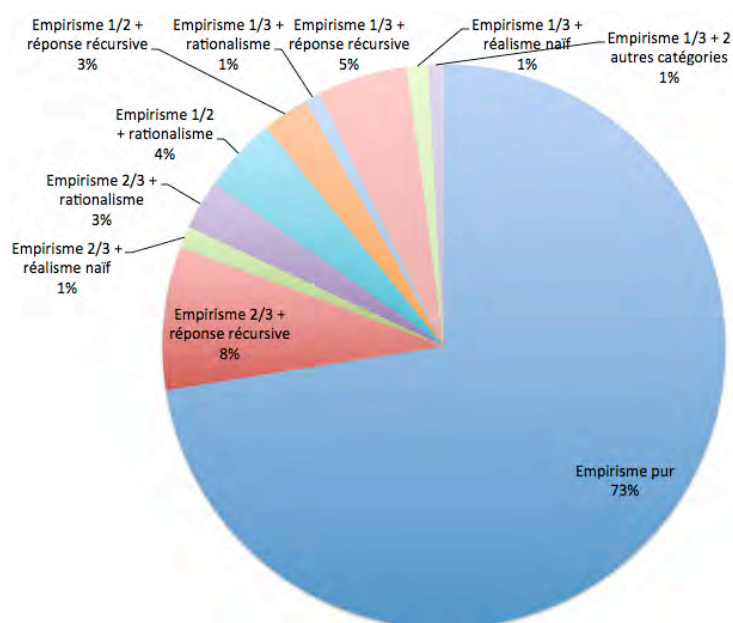


Diagramme 2.1.3.2.b. : Répartition des participants selon les différents profils incluant une composante empiriste (560 profils au total)

Il n'est pas très surprenant que les enseignants et futurs enseignants aient une vision de la science à dominante empiriste, compte tenu des stratégies pédagogiques de l'Éducation Nationale, à la fois du point de vue de l'enseignement qu'ils ont reçu et de celui des programmes qu'ils doivent ou devront mettre en œuvre. La démarche d'investigation repose avant tout à l'école primaire sur des expériences et le scientifique archétypal reste souvent "l'expérimentateur en blouse blanche".⁵⁰

Prime à l'empirisme chez les enseignants en poste

Les enseignants apparaissent un peu plus empiristes que les étudiants, à 80% (200 sur 249) contre 68% (360 sur 528). Cette proportion plus importante pourrait être associée à une fréquentation prolongée de la démarche d'investigation expérimentale chez les premiers.

Un faible recouvrement entre empirisme et rationalisme

La faible proportion (8%) de profils combinant empirisme et rationalisme apparaît plus surprenante. On peut encore noter qu'elle est plus faible chez les enseignants en poste (3% des 200 enseignants empiristes) que chez les étudiants (12% des 360 étudiants empiristes).⁵¹

Un "empirisme" peu sophistiqué

La part importante d'autoréférence associée (16%) peut quant à elle marquer la difficulté de certains participants à formuler leur représentation de la science. C'est une question d'ordre épistémologique à laquelle ils n'ont que très rarement eu l'occasion de réfléchir dans leur parcours scolaire ou professionnel et l'exercice n'est pas simple. Leur recours à l'autoréférence pourrait alors s'interpréter comme une solution de repli.

L'empirisme des enseignants et futurs enseignants sondés demeure toutefois peu sophistiqué, assez éloigné de celui d'Auguste Comte ou de Gaston Bachelard.

2.1.3.3. Rationalisme

Alors même que la catégorie "rationaliste" a été très significativement élargie, elle concerne peu de participants, même de façon minoritaire. Seuls 69 profils sur 777, soit 8,8% des participants, présentent cette composante.

On pourrait, avec beaucoup d'indulgence, envisager de considérer les participants "aristotéliens" (i.e., ici, tenant d'une approche apodictique) comme des "pré-rationalistes" (au sens moderne); mais, même ainsi, les enseignants et futurs enseignants rationalistes au sens très élargi ne représenteraient que 17% de la population. Nous ne faisons pas ce choix ici.

50. D. Wade. (1983). « Draw-a-scientist ». *Science Education*, 67(2), 255–265.

51. La taille de l'échantillon et le nombre de variables potentiellement pertinentes ne permettent pas d'interprétation univoque de ce résultat. On peut toutefois imaginer que la moins grande distance des étudiants à leur formation initiale en sciences y contribue.

Le profil *rationaliste pur*⁵² est très rare : 6 occurrences pour 777 participants soit 2% des participants et 9% des profils incluant une composante rationaliste.

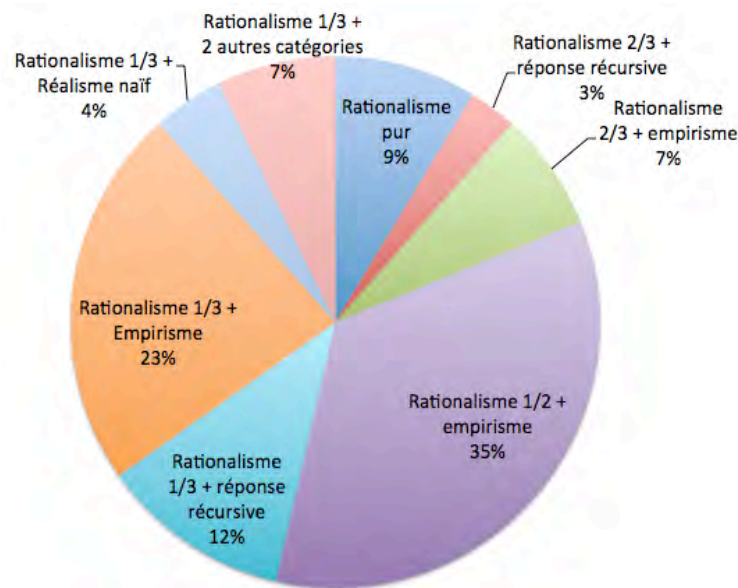


Diagramme 2.1.3.3. : Répartition des participants dont le profil comporte une composante rationaliste (66 au total)

On constate que la composante rationaliste est avant tout associée à l'empirisme : cette association apparaît dans 72% des réponses (50 profils). Même si la répartition entre rationalisme et empirisme sur les différents profils (2/3, 1/2, 1/3) n'est pas exempte d'une part de subjectivité, cela n'a pas d'impact sur le pourcentage total des réponses. (diagramme 2.1.3.2.).

2.1.3.4. Réponse réursive

Une proportion non négligeable des enseignants et futurs enseignants (26%) a recours à l'autoréférence lorsqu'il leur est demandé de s'exprimer sur la nature de la science. (diagramme 2.1.3.4.). Parmi ceux-là, 27% ont un profil purement réursif (7% de l'ensemble des participants) et 44% sont "empiristes réursifs".

Les questionnaires ne permettent pas de distinguer les éléments réursifs relevant d'une logique circulaire d'un simple refus d'obstacle ou d'une tentative d'ontologisation de la science. Toutefois, le niveau de langage observé permet de supposer que la question les met en difficulté.

52. Qui, en pratique, intègre tous les participants dont le profil aurait intégré une composante rationaliste dans le sens plus restreint auquel Bachelard emploie ce terme.

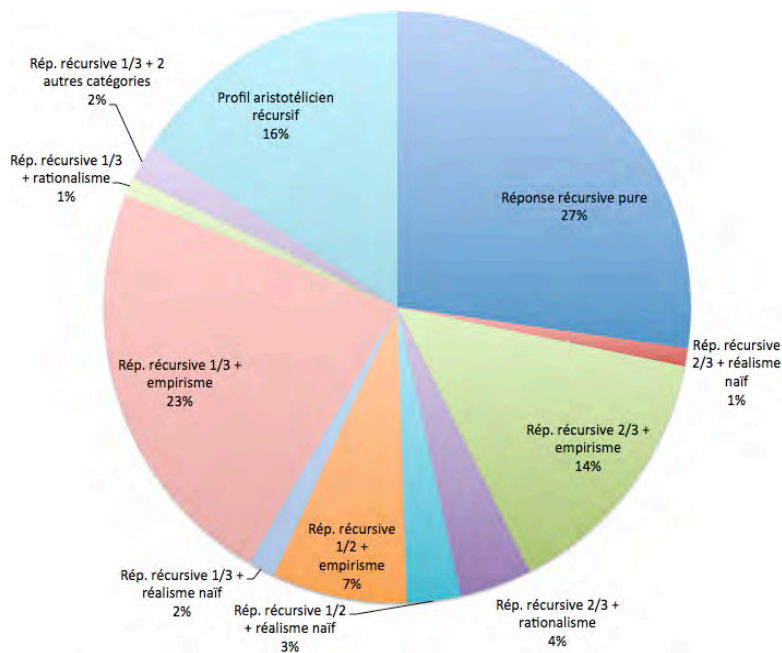


Diagramme 2.1.3.4. : Répartition des participants dans les profils incluant une composante récursive (202 au total)

2.1.3.5. Réalisme naïf et profils additionnels

Les enseignants et futurs enseignants sont :

- 25 sur 777, soit 3,2%, à être majoritairement réalistes naïfs dont 12 sont des réalistes naïfs purs (diagramme 2.1.3.5.)
- 71 à présenter un profil aristotélien, soit 9,2% d'entre eux
- 22 à présenter un profil exploratoire pur, soit 2,8%⁵³

Les profils à dominante réalisme naïf, aristotélien et "exploratoire" correspondent à des enseignants et futurs enseignants dont la représentation de la science est soit rudimentaire, soit archaïque.

À ces 15,2% d'enseignants et futurs enseignants qui ont une représentation de la science éloignée de la science moderne, s'ajoutent 7% d'enseignants et futurs enseignants récuratifs purs soit 22,2%.

Au total, en cumulant ces 15,2% d'"archaïques" et les 7% de "récuratifs purs", 22,2% des enseignants ou futurs enseignants, soit plus d'un cinquième, proposent une réponse très problématique⁵⁴ à une demande de réflexion sur la nature de la science.

53. Rappelons que, pour ne pas alourdir le nombre de profils types, l'aspect exploratoire n'a pas été traité systématiquement comme une contribution possible à tous les profils, à l'égal par exemple du réalisme naïf. Ce choix ne permet donc pas de savoir quelle proportion des participants intègre de façon minoritaire cette composante dans son profil.

54. Ce qui ne signifie aucunement que les autres réponses puissent être considérées comme satisfaisantes, compte tenu en particulier de l'élargissement considérable des catégories "empiriste" et "rationaliste".

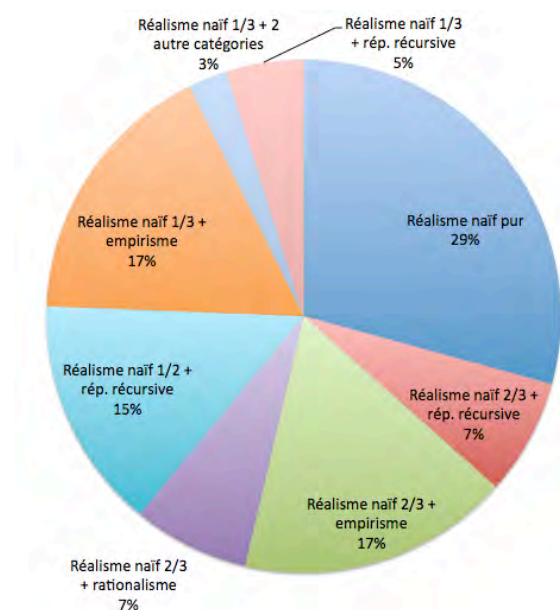


Diagramme 2.1.3.5. : Répartition des participants dans les différents profils incluant une composante réalisme naïf (41 profils au total)

2.1.4. Synthèse

L'étude réalisée a permis de dégager trois tendances lourdes concernant les représentations de la science des enseignants et futurs enseignants sondés :

- 66% d'entre eux apparaissent majoritairement empiristes
- 90% d'entre eux n'expriment aucun rationalisme
- 24% d'entre eux ont une représentation archaïque de la science

Ces résultats ont été obtenus en s'appuyant sur les réponses de 777 étudiants se destinant à l'enseignement et d'enseignants en poste, essentiellement dans le cadre de formations obligatoires. La grande diversité du public considéré et les résultats très tranchés obtenus nous incitent à considérer cet échantillon comme représentatif des enseignants du département des Alpes-Maritimes. Il reste difficile d'évaluer la pertinence des résultats obtenus pour des enseignants d'une autre région mais il serait étonnant que les tendances dégagées diffèrent fortement. Des études plus systématiques sur un échantillon élargi seraient néanmoins nécessaire pour s'en assurer.

6.2.2. CRITERES DE SCIENTIFICITE SPONTANES

On trouve dans la littérature deux approches principales pour identifier les représentations de la nature de la science.⁵⁵ La première, non spécifique, est mise en place dans un contexte très ouvert, afin de limiter l'influence de l'enquête sur les réponses ; en contrepartie celles-ci sont souvent réduites à quelques éléments de

55. Pour une revue très détaillée, cf. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », op. cit.

scientificité. Inversement, l'approche basée sur des situations contextualisées fournit souvent des réponses plus précises mais susceptibles d'être induites par la formulation des questions et spécifiques aux exemples proposés.

On fait ici le choix de croiser les deux approches afin d'identifier les critères de scientificité employés spontanément par des enseignants, d'une part dans un contexte très ouvert et, d'autre part, dans des situations de plus en plus spécifiques.

Pour cela, quatre études complémentaires ont été engagées :

- La première a permis de recueillir les conceptions de près d'un millier d'enseignants et futurs enseignants sur des questions très ouvertes en les sollicitant sur un temps court (§ 2.2.1.).

- La seconde s'est au contraire focalisée sur des objets spécifiques intervenant dans la plupart des D.I., les *définitions* et les *schémas*. Elle a consisté à demander aux participants à des D.I. de mobiliser en situation des critères pour évaluer la scientificité de leurs propres productions (§ 2.2.2. & 2.2.3.). Plus coûteuse en temps, elle a été déployée dans le cadre de formations longues.

- La troisième s'est penchée sur les critères employés pour caractériser un document scientifique (§2.2.4.) ou une expérience (§2.2.5.).

- Enfin, la quatrième étude concernait la réaction des participants à des critères de scientificité suggérés, indirectement, par le support, à propos de situations plus complexes, expériences ou investigations complètes (§ 2.2.6.).

2.2.1. Approche non spécifique

Un millier d'enseignants et futurs enseignants⁵⁶ ont été soumis à des questions ouvertes sur la nature de la science ou la caractérisation des scientifiques⁵⁷. L'ensemble de leurs réponses est disponible en annexe 6.B.a. Les profils épistémologiques de 77 d'entre eux ont été réalisés à la section précédente (§ 6.2.1.)

L'objet de cette étude était d'identifier leurs critères de scientificité spontanés. *Le dépouillement ne fait apparaître que très peu de critères de scientificité stricto sensu, c'est à dire formulés comme des conditions nécessaires.* La plupart intègrent toutefois des éléments de scientificité plus ou moins bien formulés. Au total, 1500 éléments de scientificité ont été identifiés pour 1163 réponses scrutées. Ils ont été répartis entre 33 catégories⁵⁸ (tableau 2.2.1.).

56. 1163 au total. 696 futurs enseignants français, 287 enseignants en poste français, 27 étudiants suisses et 104 enseignants chiliens. Cet échantillon inclut celui de 777 participants, dont les profils épistémologiques ont été réalisés à partir des mêmes données (section 6.2.1) ainsi que les participants des groupes 1-4, 24-25, 28, 37, 50, 53 et 65.

57. Ils ont répondu pour cela à un court questionnaire comportant deux ou trois questions et demandant moins de dix minutes pour être complété. Plusieurs séries de questions ont été utilisées pour en voir l'impact éventuel sur les réponses fournies. Les séries de questions sont indiquées pour chaque groupe sondé dans la section méthodologie, 4.2.1.8.2.

58. Les catégories ont été construites en rassemblant les éléments de scientificité similaires présents dans différentes réponses. Cf la section méthodologie, 4.2.1.6.2. pour la procédure suivie pour catégoriser des éléments de réponses.

Élément de scientificité relatif à :	Nb. d'occurrences	% des réponses	% des élém. formulés
Rapport à l'expérience	639	54,5%	43%
<i>dont Présence d'expériences, citées sans plus de précision (U5⁵⁹)</i>	372	32%	25%
<i>Recours à l'expérience pour valider ou non une hypothèse (U1)</i>	204	17,5%	14%
<i>Recours à l'expérience comme preuve (U2)</i>	63	5%	4%
Présence de données chiffrées	94	8%	6%
Technicité du vocabulaire	93	8%	6%
Présence de schémas	91	8%	6%
Nature de la source	78	7%	5%
Aspect rationnel des connaissances	71	6%	5%
Reproductibilité (des expériences ou de la démarche)	58	5%	4%
Découverte de nouvelles connaissances	51	4%	3%
Existence de lois	46	4%	3%
Idée d'objectivité	38	3%	3%
Rigueur dans le travail	35	3%	2%
Construction de généralités	28	2%	2%
Aspect provisoire du savoir	24	2%	2%
Appel à une autorité scientifique	20	2%	1%
Existence de tests des hypothèses	20	2%	1%
Précision dans le travail, exactitude	19	2%	1%
Précision du vocabulaire	18	2%	1%
Non scolasticité	14	1%	1%
Validation par la communauté scientifique	11	1%	1%
Modélisation	9	1%	1%
Existence d'une communication	8	1%	1%
Cohérence externe	7	1%	<1%
Réfutabilité d'un document scientifique	5	<1%	<1%
Opportunité des expériences	5	<1%	<1%
Robustesse des données	4	<1%	<1%
Exhaustivité documentation	3	<1%	<1%
Navigation entre monde physique et représentations	3	<1%	<1%
Economie documentation	2	<1%	<1%
Cohérence lexicale	2	<1%	<1%
Relativité	1	<1%	<1%
Navigation entre général et particulier	1	<1%	<1%
Appartenance à une communauté	1	<1%	<1%
Cohérence logique	1	<1%	<1%
TOTAL (sur 1163 réponses)	1500	129%	100%

Tableau 2.2.1. : Répartition des éléments de scientificité identifiés (1163 réponses). Une même réponse pouvant contenir-plusieurs éléments de scientificité, la somme est supérieure à 100%.

59. Les qualifications U1-U5 relatives à la perception des expériences ont été définies dans la section 6.1.2.3. Elles n'admettent pas de recouvrement.

2.2.1.1. L'expérience, référence dominante

54,5% des participants parlent d'expérience quand on leur demande de caractériser la science. L'association science/expérience est de très loin la caractéristique de la science la plus partagée par les participants puisque les caractéristiques suivantes concernent au plus 8% des participants. Ce résultat n'est pas surprenant dans la mesure où l'étude précédente a montré qu'ils avaient majoritairement un profil empiriste (cf. § 6.2.1.).

On constate cependant que cette association reste peu sophistiquée (qualification U5) chez 32% des participants, qui ne lui attribuent pas de fonction spécifique.

Pour les 22,5% participants restant, l'expérience sert à prouver ou à tester une hypothèse.

Notons que les participants ne sont par ailleurs que 5% à associer à la scientificité d'une production (expérience, démarche) à la vérification de sa reproductibilité.

2.2.1.2. Autres éléments de scientificité spontanés

À l'exception de l'expérience, aucune caractéristique de la science n'est partagée par plus de 10% des participants : seuls 7 autres éléments de scientificité fédèrent plus de 4% — mais moins de 8% — des réponses (diagramme 2.2.1.2.).

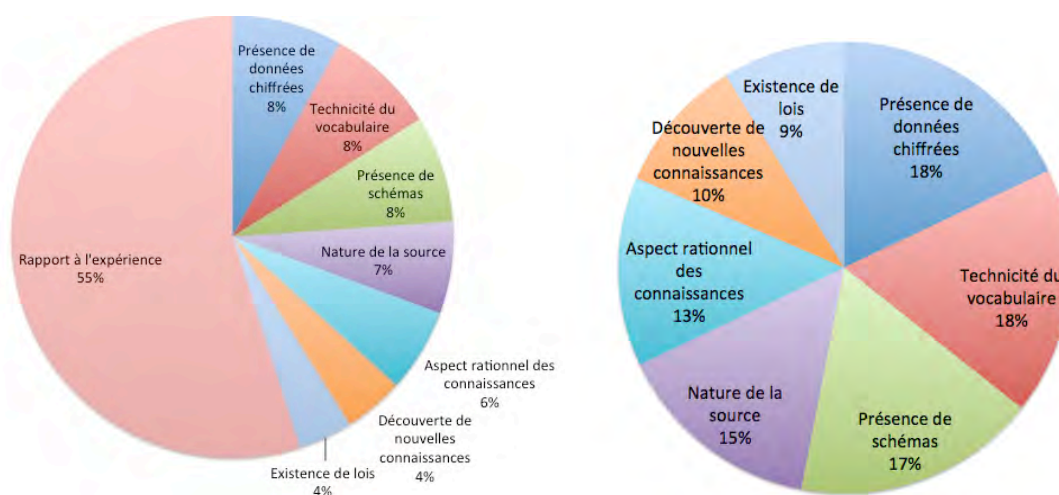


Diagramme 2.2.1.2. : A gauche : Distribution des 1221 éléments de scientificité partagés par 4% ou plus des participants. A droite : idem, sans la catégorie majoritaire (pour des raisons de lisibilité) ; 524 éléments soit 35% de l'ensemble)

7 à 8% des participants⁶⁰ s'appuient sur des éléments facilement identifiables : données chiffrées, schémas, présence de vocabulaire technique, nature de la

60. Il s'agit avant tout des participants pour lesquels la formulation d'une des questions portait sur ce qui permet de distinguer un document scientifique d'un document qui ne l'est pas (gp. 21-26, 32-37, 28 & 38) plutôt que sur ce qui permet de distinguer d'une façon plus générale "quelque chose" de scientifique de quelque chose qui ne l'est pas. Pour un traitement spécifique des réponses à cette question, voir § 6.2.2.4.

source citée. Même si ces éléments sont souvent présents dans les productions scientifiques, leur pouvoir discriminant reste néanmoins faible, ces caractéristiques étant faciles à mimer dans des textes pseudo-scientifiques⁶¹.

Il en va de même des éléments dégagés relatifs à l'aspect rationnel⁶² ou novateur des productions qui sont peu discriminants. De nombreuses connaissances sont ainsi rationnelles sans être pour autant scientifiques (e.g. la philosophie).

Ce n'est enfin qu'à l'état de traces que l'on trouve l'expression d'éléments de scientificité proches des critères de scientificité opératoires établis dans la partie 5 (cf. tableau 2.2.1.).

2.2.2. Scientificité d'une définition

On cherche maintenant à identifier les éléments de scientificité utilisés pour évaluer la scientificité d'une définition.

Plutôt que sur un terme "savant" (e.g. *énergie*, *entropie*), on choisit de travailler sur la définition "scientifique" d'un terme courant, ne présentant pas de sérieuse difficulté conceptuelle mais dont l'usage scientifique n'est pas familier aux participants. Ces précautions visent à éviter à la fois la "récitation" mécanique d'une définition toute faite, connue mais pas nécessairement comprise, et la possibilité de se réfugier derrière la difficulté supposée de la notion pour esquiver la tâche.

Au programme de l'école primaire, la notion d'**ombre** satisfait en grande partie à cette double contrainte. En effet, tous les participants ont une expérience personnelle du phénomène, et donc une idée de ce qu'est une ombre et de ce qui la provoque.

L'étude est menée au cours de la première séance en démarche d'investigation vécue par les participants avec le praticien-chercheur. Celle-ci porte sur les ombres colorées.⁶³ La difficulté à laquelle ils sont alors confrontés est la formulation de la définition⁶⁴ et de ses limites (e.g. un objet transparent a-t-il une ombre ?).

61. Un exemple classique est celui de la *Démonstration expérimentale d'une organisation tomatotopique chez la Cantatrice* de Pérec, article jouant délibérément avec les conventions scientifiques et qui peut être considéré sans difficulté comme scientifique au regard des éléments de scientificité dégagés par les participants.

62. Sans qu'il soit possible d'identifier précisément ce que les participants entendent par le terme "rationnel".

63. La séquence sur les ombres colorées E02 est disponible en annexe 2.A.

64. Le Dictionnaire d'Émile Littré propose : « *Espace privé de lumière par interposition d'un corps opaque.* » Le Manuel Sciences Cycle 3, 64 *enquêtes pour découvrir le monde* (éditions Magnard 2003, p. 205, Jean-Michel Rolando, Patrick Pommier, Guy Simonin et Jocelyne Nomblot) propose : « *Lorsqu'un objet opaque est placé devant une source de lumière, il se forme une ombre derrière lui, c'est la zone qui ne reçoit pas la lumière de cette source. On peut observer l'ombre sur l'objet lui-même (ombre propre) ou sur une surface derrière lui comme le sol, un mur ou un écran (ombre portée). La forme de l'ombre dépend de la disposition de la source de lumière par rapport à l'objet éclairé, de la disposition de l'écran, de la position de l'observateur.* » On notera, dans les deux cas, l'absence de termes savants.

2.2.2.1. Futurs enseignants du primaire

315 étudiants PE1 des promotions 2008-2009 et 2009-2010 ont été sollicités⁶⁵.

Il s'agissait dans un premier temps de proposer, par groupe ou individuellement, des définitions « *aussi scientifiques que possible* » de l'ombre. Après mise en commun et affichage au tableau, il était demandé : « *Quelle est d'après-vous la définition la plus scientifique ? Justifiez.* » ainsi que : « *Quelle est d'après-vous la définition la moins scientifique ? Justifiez.* » Les 124 réponses obtenues⁶⁶ ont ensuite été rassemblées pour traitement et analyse.

Exemples de définitions considérées comme “les plus scientifiques” par les étudiants :

- « *Projection de la lumière sur un plan après rencontre d'un obstacle.* » (PE1 5 2009-2010)
- « *Les rayons lumineux sont rectilignes dans des conditions normales de température et milieu homogène et se propagent tant qu'ils ne rencontrent pas d'obstacle. Dès qu'ils en rencontrent un, ils rebondissent sur celui-ci.* » (PE1 5 2009-2010)

Commentaire : Aucune de ces définitions n'est recevable. La première est incorrecte dans la mesure où, après que la lumière a rencontré un obstacle (sous-entendu : opaque), plus rien n'est encore susceptible d'être “projeté”. La seconde digresse sur les conditions de validité du modèle du rayon lumineux mais ne constitue pas (ou seulement en creux) une réelle définition de l'ombre.

Exemples de définitions considérée comme “les moins scientifiques” par les étudiants :

- « *Reffet de soi sur le sol grâce à la lumière du soleil* » (PE1 5 2009-2010)
- « *Double d'une image, chose, animal obtenu sur une autre surface* » (PE1 5, 2009-2010)

Les justifications sont la plupart du temps très courtes et se limitent souvent à quelques mots (e.g. « *C'est la plus claire* »). Certaines comprennent néanmoins plusieurs éléments de réponse distincts (e.g. « *Définition la plus précise et complète* »).

Au total, on recense 186 éléments de justification du caractère supposément “scientifique” des définitions identifiées comme telles ; de même, 159 éléments justifiant le rejet de définitions jugées “non scientifiques”.

Ces éléments apparaissent relativement peu variés et se répartissent aisément en une vingtaine de catégories. Pour l'essentiel, ces dernières reprennent les termes même employés par les participants (e.g. “clarté de la définition”). Lorsqu'une réponse contient des éléments relevant de plusieurs catégories (e.g. « *définition la plus précise et complète* »), ses différents éléments sont rangés indépendamment dans les catégories correspondantes.

On observe que, dans presque toutes les catégories, *des justifications complémentaires* apparaissent spontanément dans les deux exercices. Ainsi, alors que la clarté est un élément de scientificité pour les participants, *l'absence de clarté* permet de justifier la non scientificité d'une réponse. (tableau 2.2.2.1.a.). Les exceptions concernent des caractéristiques d'ordre littéraire, la

65. Il s'agit des groupes 5 à 12 et 20 à 27 pour les PE1. Les étudiants en PE1 ont une licence et prépare le concours pour devenir enseignant du primaire à l'IUFM.

66. Il y a moins de réponses que de participants, certaines réponses ayant été collectées lors d'un travail par petits groupes et d'autres individuellement.

concision de la réponse (élément positif) et une syntaxe incorrecte (élément négatif).

Elément de justification du caractère "scientifique d'une définition"	Nb.	Elément de justification du caractère "moins scientifique" d'une définition	Nb.	Total	%
Présence de vocabulaire scientifique	39	Absence de vocabulaire scientifique	18	57	16,5
Clarté de la définition	30	Absence de clarté	14	44	12,8
Précision de la définition	13	Absence de précision	19	32	9,3
Présence de vocabulaire approprié	9	Vocabulaire non approprié	21	30	8,7
Généralité de la définition	16	Cas particulier	9	25	7,2
Définition complète	11	Définition incomplète	14	25	7,2
Prise en compte de tous les paramètres	10	Absence d'un élément important	14	24	7
Vocabulaire précis	12	Vocabulaire flou, vague, confus	9	21	6
Présence d'explication	8	Absence d'explication	7	15	4,4
Concision de la définition	14			14	4
		Syntaxe incorrecte	12	12	3,5
Justesse de la définition	5	Définition fausse	7	12	3,5
Définition facile à comprendre	2	Difficile à comprendre	7	9	2,6
Déf. accompagnée d'un exemple	4	Déf. restreinte à un exemple	5	9	2,6
SimPLICITÉ	6	Excès de simplicité	3	9	2,6
Inclassable	7			7	2
TOTAL	186		159	345	100

Tableau 2.2.2.1.a. : Occurrences des catégories de justification du classement d'une définition comme « plus scientifique » (à gauche) ou « moins scientifique » (à droite)

Statut du vocabulaire et du jargon technique

Les éléments le plus fréquemment mis en avant par les participants portent sur le *vocabulaire* : 31% des éléments recueillis y sont associés, qu'il s'agisse de sa technicité, de sa précision (sans plus d'indication) ou de son caractère "approprié".

Il est intéressant de noter que de nombreux participants estiment non seulement que la présence d'un "vocabulaire scientifique" est importante (20%, 39 sur 186), mais aussi que son absence est préjudiciable à la scientificité d'une définition (11%, 18 sur 159).

15 réponses proposent spontanément des exemples de termes considérés comme scientifiques :

- *photon*
- *rayon lumineux*
- *projection*
- *source lumineuse*
- *trajectoire rectiligne*
- *surface*
- *plan*
- *ombre propre*
- *indice de l'air*
- *conditions normales de température*
- *milieu homogène.*

Ces exemples spontanés incluent aussi bien des termes effectivement maîtrisés par les étudiants, comme le vocabulaire relatif aux mathématiques élémentaires (*surface, plan*), que des termes physiques dont la maîtrise est *a priori* plus douteuse, comme *photon* ou *indice de l'air* ou les notions de *conditions normales* ou de *milieu homogène*. Il semble donc que leur technicité suffise pour eux à en garantir la scientificité, indépendamment de la compréhension de leur sens.

On constate donc que la notion de “vocabulaire scientifique” est large pour les participants. Elle semble par ailleurs largement décorrélée de la pertinence de l'emploi de ces termes.⁶⁷

Clarté et précision

La *clarté* et la *précision* d'une définition sont régulièrement citées par les futurs enseignants (22% en tout). Toutefois, les sollicitations du praticien-chercheur pour obtenir une description approfondie de ce que les participants mettent derrière ces caractéristiques lors des discussions les mettent souvent dans un embarras visible ou les conduisent à répondre de façon circulaire (typiquement : *la définition est claire parce que je la comprends ; et je la comprends parce qu'elle est claire*). Ainsi interrogés sur ce qu'ils entendent par “précision d'une définition”, beaucoup expliquent qu'il faut un vocabulaire précis pour que la définition soit précise.⁶⁸

Un petit nombre considère qu'une définition doit être *complète* ou tenir compte de tous les éléments importants. En l'occurrence, pour la définition de l'ombre, une source de lumière, un obstacle et une surface (14,2% des éléments de réponse cités au total) et qu'elle se doit d'être *générale* (7%).

La *justesse* est un élément cité moins fréquemment sans doute du fait du peu de définitions erronées proposées (ou repérées comme telles) par les participants eux-mêmes.

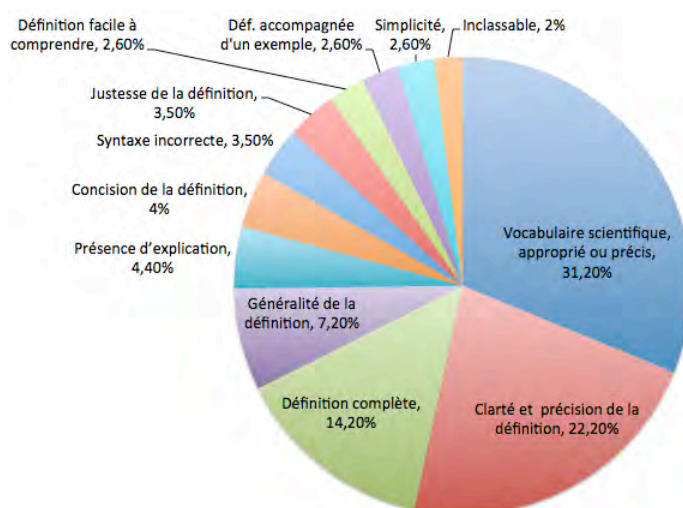


Diagramme 2.2.2.1.b. : Poids relatif des différentes catégories de justification

67. Ainsi, la définition « C'est une parcelle dans laquelle la lumière provenant d'une source lumineuse (photons) est directement obstruée par un objet dont l'indice est différent de l'air » est considérée comme scientifique par de nombreux participants d'un groupe du simple fait de la présence des mots *photon* et *indice*.

68. On retrouve ici une tendance à la récursivité déjà identifiée dans les profils épistémologiques de 26% des enseignants et futurs enseignants de la section 6.2.1.3.4.

En résumé, pour ces futurs enseignants du primaire, *une définition doit, pour être considérée comme scientifique* :

- comporter des termes scientifiques
- être claire et précise
- avoir un caractère général
- être complète ou prendre en compte les paramètres pertinents.

Inversement, *elle ne doit pas être fausse ou mal écrite.*

2.2.2.2. Enseignants du Brunei

À titre de comparaison et pour tester la robustesse ces résultats, le même travail a été demandé à 26 professeurs de science au collège au Brunei⁶⁹ dans le cadre d'une formation continue longue. Les enseignants ont répondu aux questions de façon individuelle. (tableau 2.2.2.2.)

Elément de justification du caractère "scientifique d'une définition"	Nb.	Elément de justification du caractère "moins scientifique" d'une définition"	Nb.	Total	%
Présence de vocabulaire scientifique	11	Absence de vocabulaire scientifique	3	14	20,5
Clarté de la définition	4	Absence de clarté	6	10	14,7
Précision de la définition	8	Absence de précision	3	11	16,2
Présence de vocabulaire approprié		Vocabulaire non approprié	14	14	20,5
Généralité de la définition		Cas particulier	2	2	3
Définition complète		Définition incomplète	4	4	5,9
Présence d'explication	6	Absence d'explication	1	7	10,3
Concision de la définition	1			1	1,5
Définition facile à comprendre	3	Difficile à comprendre	1	1	1,5
Inclassable	1			1	1,5
TOTAL	34		34	68	100

Tableau 2.2.2.2. : Occurrences des catégories de justification de la scientificité d'une définition, incluant les éléments complémentaires « plus scientifique » (à gauche) ou « moins scientifique » (à droite) d'une même catégorie

Les résultats sont très similaires à ceux obtenus avec les futurs enseignants du primaire français. *Les différences culturelles semblent donc avoir peu d'impact sur les éléments dégagés pour caractériser la scientificité d'une définition.* Ce résultat confirme ceux du groupe de N. Lederman, qui a établi que des représentations de la science similaires sont partagées par des enseignants d'origines variées⁷⁰.

2.2.3. Scientificité d'un schéma

Dans le même esprit et à partir de la même séquence en démarche d'investigation sur les ombres colorées, on s'intéresse maintenant à la perception de la scientificité d'un autre objet d'intérêt scientifique et pédagogique, le *schéma d'expérience*.

69. Il s'agit du groupe 30.

70. Norman G. Lederman, « Nature of Science : Past, Present and Future », op. cit. et en particulier le questionnaire VNOS-B.

Un exercice réalisé par groupe consiste à concevoir et à présenter au reste de la classe une affiche expliquant la coloration des ombres observées au cours de la séquence. La consigne impose la présence d'au moins un schéma, accompagné de texte.

Compte tenu du montage proposé dans la séquence et de la solution du problème dans un cadre d'optique géométrique accessible à l'école primaire, les éléments pertinents pour répondre à la question sont, d'une part :

- 2 sources de lumière blanche divergentes avec un filtre de couleur,
- un écran,
- un obstacle,

et d'autre part, conventionnellement :

- une représentation des rayons-limites au niveau de l'obstacle pour chaque source colorée
- les limites des faisceaux
- une solution graphique permettant de comprendre l'origine des ombres (une des sources lumineuses) et leur couleur (l'autre source lumineuse).

La séquence est éprouvée et à la portée d'élèves de l'école primaire, y compris en ce qui concerne sa documentation par des schémas comportant l'ensemble de ces éléments (Fig. 2.2.3)

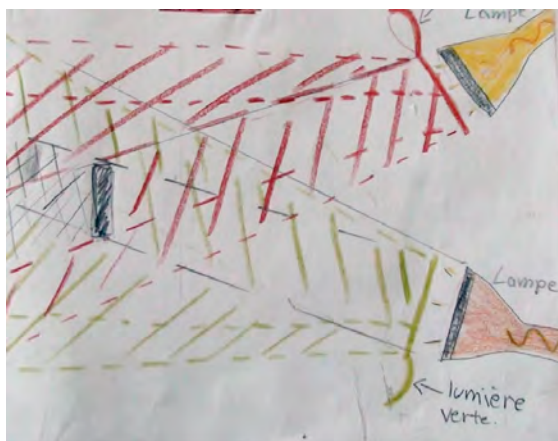


Figure 2.2.3. : Exemple de schéma réalisé par un élève de CM2

Pour identifier les éléments de scientificité spontanément considérés par les participants, il leur a été demandé : « D'après vous quel est le schéma le plus (resp. : le moins) scientifique et pourquoi ? », lors de la discussion collective suivant la présentation et la confrontation des affiches réalisées par les différents groupes.

315 étudiants PE1 des promotions 2008-2009 et 2009-2010 et 26 professeurs de science au Brunei ont été sollicités. Comme pour les définitions, les différences culturelles ne semblent pas constituer un paramètre significatif.

2.2.3.1. Diversité des schémas d'expérience

L'observation des nombreux schémas ainsi réalisés révèle une grande diversité de représentations, diversité qui alimente l'échange sur le caractère scientifique ou non de chacune et génère dans chaque classe des discussions

différentes. (Figure 2.2.3.1.) Les vues de dessus, de face, un mélange des deux vues et la représentation en perspective sont utilisées. Les solutions trouvées par les participants pour tracer les rayons et délimiter les zones lumineuses telles qu'ils les voient sur l'écran et sur la surface horizontale sur laquelle repose la source lumineuse sont variées : pointillés, flèches, traits, hachures, points, coloriage. Les deux choix du parallélisme ou non des rayons lumineux sortant de la source sont représentés, même si, en l'occurrence, la source utilisée n'est pas une source de lumière parallèle.

On observe par ailleurs un souci de réalisme dans la plupart des représentations. En revanche, peu de schémas intègrent l'ensemble des éléments attendus.

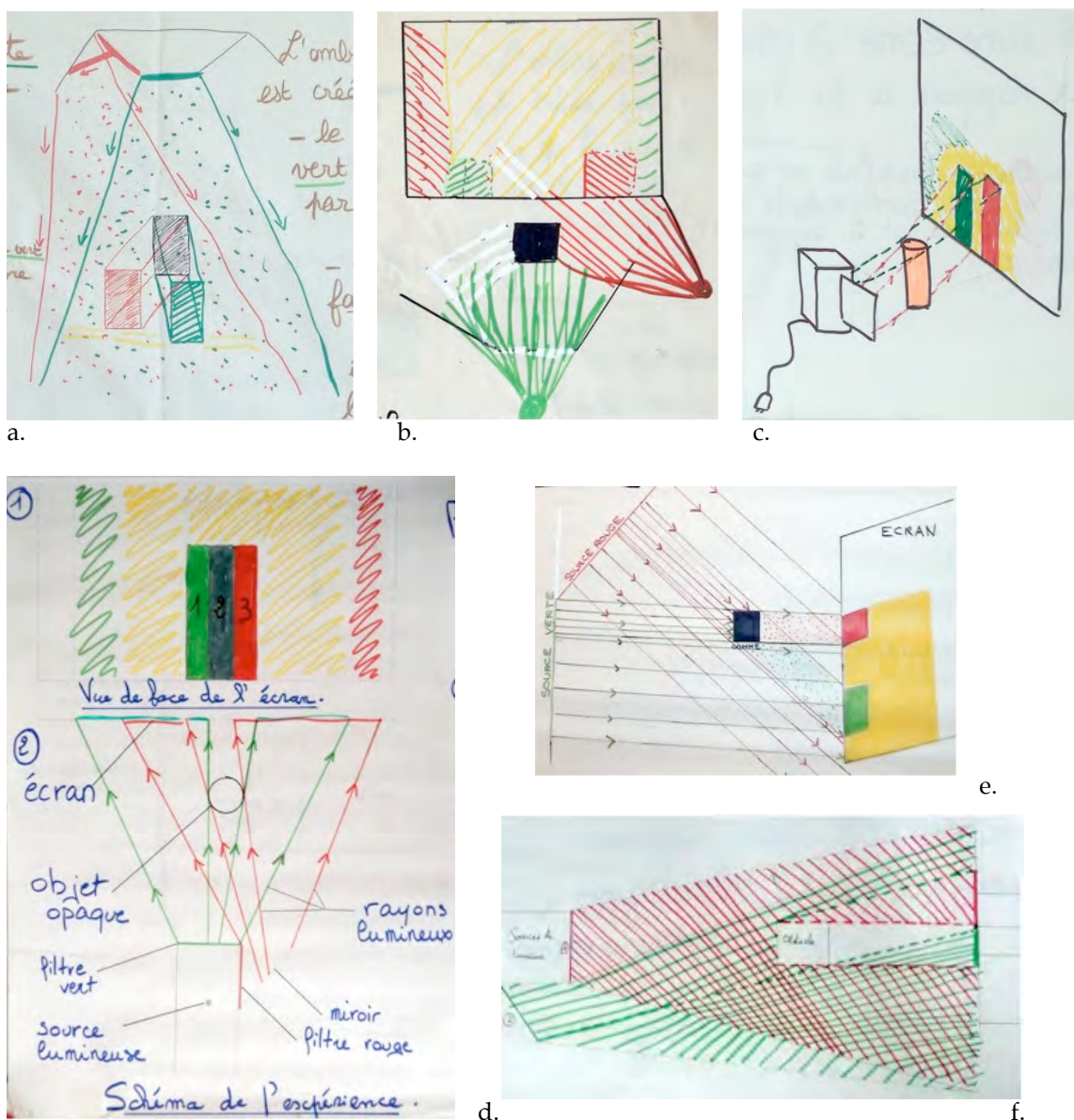


Figure 2.2.3.1. : Exemples de schémas réalisés par des enseignants et futurs enseignants (a-f)

Dans 4 formations (gp. 5, 21, 24 et 30), les participants ont mis par écrit leurs justifications ; dans les autres groupes, seule une discussion collective a eu lieu et a été enregistrée. Les différentes justifications, tant orales qu'écrites,

portant sur la scientificité des schémas des réponses sont synthétisées ci-dessous, des éléments semblables ayant été dégagés.

2.2.3.2. « Trop de traits ! »

Le nombre de “traits”⁷¹ représentés sur les schémas est un élément souvent discuté par les participants. Des échanges similaires se sont tenus dans la plupart des classes. Ils font apparaître qu’un schéma d’apparence trop complexe est jugé peu scientifique car peu compréhensible (e.g. schéma 2.2.3.2.g.).

Symétriquement, le même argument est également utilisé par des participants pour justifier le peu de rayons tracés sur leur propre schéma, même au détriment de son pouvoir explicatif : “trop de traits” le rendrait incompréhensible et donc peu scientifique. C’est typiquement le cas lors de la discussion du schéma 2.2.3.2.h.

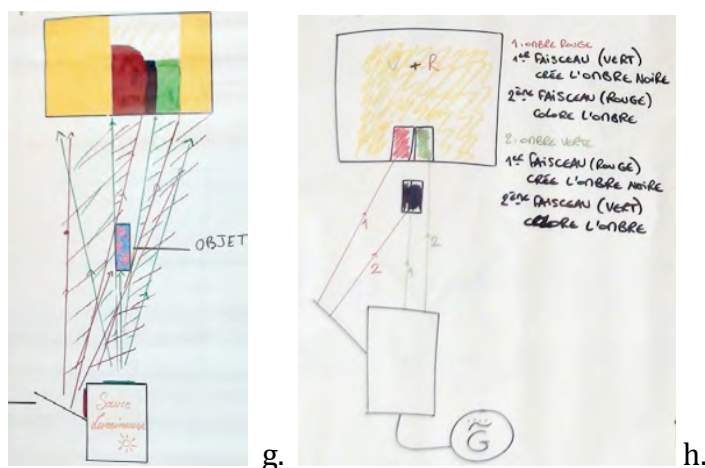


Figure 2.2.3.2. : À gauche : Schéma g, recevable mais jugé par certains participants présenter “trop de traits” pour être scientifique (les hachures ont été rajoutées par le praticien-chercheur au cours de la discussion) ; à droite : schéma h, moins explicatif mais considéré par ses auteurs comme plus scientifique du fait de sa sobriété.

Un critère qui émerge ici est que le schéma doit avant tout être compréhensible *pour eux*, enseignants ou futurs enseignants.

2.2.3.3. Représentations conventionnelles ou non

De même que la présence de mots réputés “savants” suffit, pour beaucoup d’étudiants, à fonder la scientificité d’une définition, celle de conventions graphiques également identifiées *a priori* comme scientifiques semble avoir une nette influence sur la perception de la scientificité d’un schéma

Ainsi, du point de vue de l’explication physique, le schéma *k* apparaît-il plus recevable que le schéma *l* (Figure 2.2.3.3.)⁷² : le modèle géométrique sous-

71. Le terme est employé dans son usage scolaire courant.

72. Les schémas *k* et *l* ont été réalisés par des enseignants au Brunei. Notons que, la durée de la formation le permettant, des traces écrites ont été recueillies pour ces participants.

jacent est satisfaisant ; la représentation de l'intersection des figures géométriques est correcte même s'il faut pour cela prolonger des rayons effacés. La plus grande partie des enseignants interrogés, en revanche, estime le schéma *l* "plus scientifique". La présence de coloriage dans le *k* est en effet rédhibitoire pour eux : « ce n'est pas la façon correcte de dessiner des rayons de lumière », « les rayons sont représentés par des couleurs », « on ne voit que des zones de couleurs ». Au contraire, sur le schéma *l*, « les rayons sont correctement dessinés », « ils sont parallèles » (alors même que, dans l'expérience la source est en fait divergente).

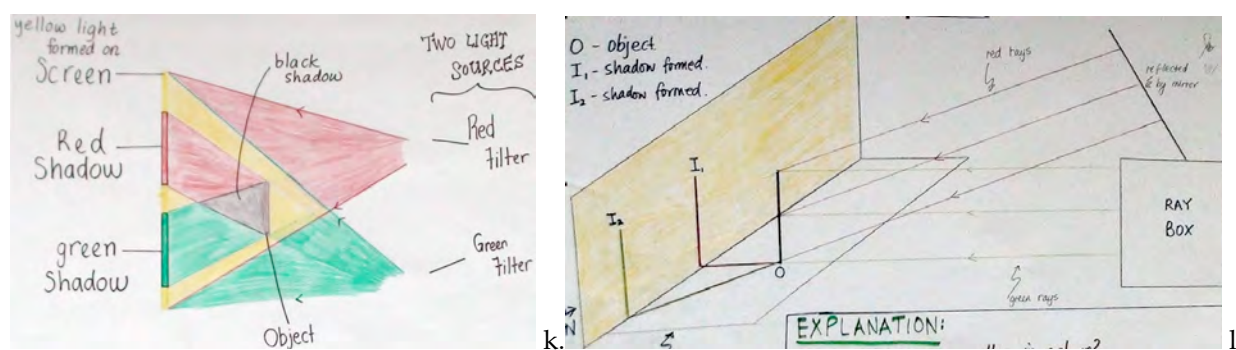


Figure 2.2.3.3. : À gauche : schéma recevable en dépit d'une représentation non conventionnelle (*k*) ; à droite : schéma irrecevable, mais jugé "plus scientifique" du fait d'une représentation plus conventionnelle (*l*)

Exemples de justifications du caractère "moins scientifique" du schéma *k* :

- « Le dessin porte à confusion » ; il « est compliqué, pas clair, confus »
- « L'ombre noire ne devrait pas être formée devant l'écran, les ombres devraient être plus longues que l'objet. » (ce qui est pourtant effectivement le cas sur le schéma)
- « La source lumineuse n'est pas représentée, le schéma n'est pas complet. »

Exemples de justifications du caractère "plus scientifique" du schéma *l* :

- « Le schéma est simple, clair, facile à comprendre. »
- « Il y a des légendes. »
- « La source lumineuse est représentée. »
- « Les concepts importants sont montrés. »

Il semble donc que la perception de la scientificité d'un schéma tienne autant, sinon plus, à sa forme qu'à son contenu.

2.2.3.4. Critères cités et critères absents

L'esthétique semble jouer un rôle essentiel dans l'évaluation de la scientificité d'un schéma par les participants. Au-delà des critères esthétiques, des différents échanges et productions des stagiaires se dégagent les éléments objectifs suivant :

« C'est scientifique si... » :

- c'est clair,
- c'est simple,
- c'est compréhensible,
- il y a des légendes,

- *il y a un souci de réalisme* (e.g. schéma « *représentatif de la réalité* », gp. 5, « *très concret* », gp. 24),
- *il y a un souci de précision*
- *il n'y a pas d'erreurs de représentation.*

On peut noter que la plupart de ces éléments sont d'ordre subjectif. Ainsi, l'exigence de précision diffère-t-elle considérablement d'un enseignant ou futur enseignant à l'autre, et *a fortiori* entre participants et formateur.⁷³

On constate de plus une forte intrication de ces critères subjectifs. Ainsi, souci de précision et souci de réalisme s'entremêlent souvent. Cette intrication ne facilite pas l'interprétation qui nécessite de faire la part de la difficulté lexicale.

Ce dont les participants ne parlent pas est aussi révélateur : ni les paramètres pertinents pour répondre à la question, ni le lien entre les traits représentés, ni le modèle du rayon lumineux ne sont cités.

2.2.4. Scientificité d'un document scientifique

Parmi les questions posées dans un court questionnaire en tout début de cours, il a été demandé à 305 étudiants ce qui, selon eux, permettait de distinguer un document scientifique d'un document qui ne le serait pas.⁷⁴

Un traitement séparé de cette question a permis de dégager 619 éléments de scientificité, dont la grande majorité (81%) se répartissent selon huit catégories principales :

- *Présence de schémas* (14 %)
- *Nature de la source* (13 %)
- *Technicité du vocabulaire* (13 %)
- *Présence d'une expérience* (12 %)
- *Présence d'une démarche identifiable* (9%)
- *Présence de données chiffrées* (8 %)
- *Présence d'une explication* (6%)
- *Présence d'une argumentation, d'une démonstration ou de "preuves"* (6 %)

17% des autres éléments se répartissent selon 8 catégories supplémentaires, regroupant chacune plus de 1% des éléments, soit 3 occurrences (diagramme 2.2.5.) ; les 2% restant peuvent être considéré comme rares.

73. La différence d'appréciation pouvant d'ailleurs valoir dans les deux sens : il est également fréquent que les auteurs des schémas s'attachent à reproduire avec une grande précision des éléments auxquels un scientifique averti n'accorderait que peu d'importance.

74. Il s'agit des groupes 21-26, 32-37, 28 et 38. Voir section méthodologie 4.2.1.8.2. pour un descriptif détaillé des questions posées et l'annexe 6.B.a. pour les réponses exhaustives des participants.

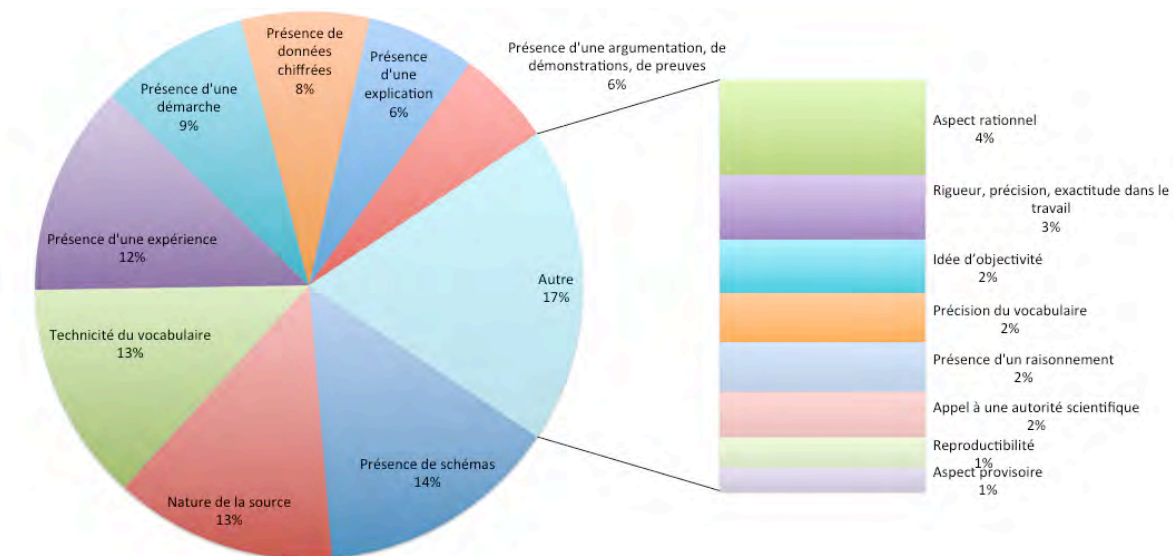


Diagramme 2.2.5. : Poids relatif des 16 catégories représentant 98% des occurrences exprimées pour caractériser la scientificité d'un document

Pour les enseignants et futurs enseignants, un document scientifique se distingue donc avant tout par sa source, la présence d'un vocabulaire technique et précis, de schémas, de données chiffrées, d'une expérience, la présence dans le texte d'une démarche; et dans une moindre mesure d'une explication et/ou d'une argumentation.

2.2.5. Scientificité d'une expérience

Pour de nombreux enseignants et futurs enseignants, les expériences sont un élément caractéristique de la science (cf. 6.1.1.1. et 6.2.2.1.). L'objet de cette étude, impliquant 66 futurs enseignants du primaire suisses (gp. 66) et 35 enseignants du primaire français (gp. 53), est de préciser ce jugement spontané en les interrogeant en tout début de formation sur les critères qui font qu'une expérience est scientifique (ou non).

La scientificité d'une expérience s'avère pour plus de la moitié des participants associée avant tout au test d'une hypothèse (40% des participants), voire à sa simple présence (15%). La présence d'une question comme source de l'expérience est également un élément déterminant pour 30% d'entre eux. (diagramme 2.2.5.a. et tableau 2.2.5.b.)

En revanche, ils sont moins de 10% à citer la reproductibilité comme une caractéristique des expériences scientifiques. Ils sont également moins de 5% à associer à une expérience scientifique un modèle ou une théorie et moins de 2% à évoquer l'identification de paramètres.

On retrouve ici, par un biais différent, un écho de la faible part accordée dans la section 6.2.2.1. à la reproductibilité et à la modélisation par les participants quand il leur est demandé de caractériser la science et qu'ils s'expriment en termes d'expérience.

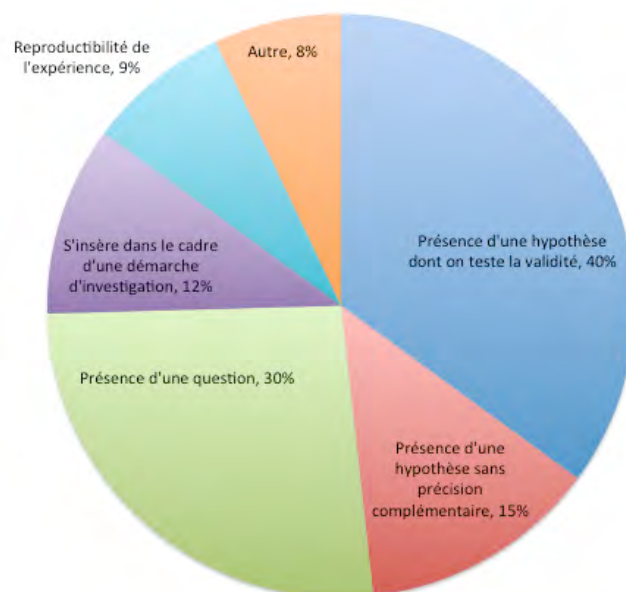


Diagramme 2.2.5.a. : Poids relatif des éléments spontanément évoqués pour caractériser la scientificité d'une expérience

Elément de justification du caractère "scientifique" d'une expérience	Nb. dans le gp. 66 (66 réponses)	Nb. dans le gp. 53 (35 réponses)	Total	% des réponses
Présence d'une hypothèse dont on teste la validité	22	18	40	40%
Présence d'une hypothèse sans précision complémentaire	10	5	15	15%
Présence d'une question	23	7	30	30%
S'insère dans le cadre d'une démarche d'investigation	9	3	12	12%
Reproductibilité de l'expérience	6	3	9	9%
Référence à une théorie ou à un modèle sur lequel s'appuie l'expérience	3		3	3%
Test d'une théorie existante	2		2	2%
Expérience en conformité avec une théorie		1	1	1%
Référence à l'identification de paramètres	1	1	2	2%
Nombre total d'éléments formulés	76	38	114	

Tableau 2.2.5.b. : Occurrences des catégories de justification de la scientificité d'une expérience

Les critères des participants relatifs à la scientificité d'une expérience s'avèrent donc faiblement opératoires en pratique.

2.2.6. Scientificité d'une démarche

Une approche complémentaire consiste à étudier la capacité des enseignants et futurs enseignants à reconnaître en contexte la mise en pratique de critères de scientificité. Pour cela, on leur demande d'évaluer la scientificité de démarches menées par d'autres, et de justifier leur réponse.

Les démarches soumises à leur sagacité insistent particulièrement sur les critères de reproductibilité et de robustesse, peu présents dans leurs caractérisations spontanées de la science formulées. Deux modalités sont envisagées : la lecture et le commentaire, d'une part, d'un document historique, la lettre de Florin Périer à Blaise Pascal narrant l'expérience du Puy de Dôme (1648 ; annexe

6.C.)⁷⁵ ; et d'autre part d'un document élaboré par le praticien-chercheur et qui propose d'évaluer la scientificité de différents déroulements de classe (§ 4.2.1.8.4.).

2.2.6.1. Lettre de Périer

La lettre de Périer insiste à de très nombreuses reprises sur la reproductibilité et la robustesse des expériences qu'il y décrit. Périer se propose de tester la formulation générale selon laquelle la hauteur de mercure dans un tube fermé à une extrémité diminue quand l'altitude augmente. Sa lettre est en elle-même un élément de documentation aussi exhaustif que possible de ses expériences et un acte de transmission des résultats. Il insiste par ailleurs sur la présence de témoins.

Il a été demandé à 54 participants appartenant à 4 groupes différents de dégager les éléments indicateurs d'une bonne pratique scientifique présents de la lettre de Périer. Les résultats sont fournis dans le tableau 2.2.6.1.

	gp. 55 (12) Enseignants du primaire	gp. 57 (11) Etudiants L2 de la faculté des sciences	gp. 56 (18) Enseignants du secondaire en physique	gp. 70 (13) Docteurs en physique	Total (54)
Reproductibilité	16% (2)	54% (6)	66% (12)	77% (10)	55%
Robustesse	41% (5)	72% (8)	55% (10)	46% (6)	53%
Précision des mesures	16% (2)	81% (9)	61% (11)	61% (8)	55%
Présence d'une documentation	33% (4)	27% (3)	27% (5)	53% (7)	35%
Présence de témoins (Garantie d'intégrité)	8% (1)	36% (4)	27% (5)	38% (5)	37%
Aspect collectif (travail en équipe)		9% (1)		15% (2)	5%
Recherche de généralisation	8% (1)		5% (1)		3%
Transmission				15% (2)	3%
Propositions d'amélioration				53% (7)	12%

Tableau 2.2.6.1. : Eléments de scientificité identifiés par les participants dans la lettre de Périer

En dépit de l'insistance du texte sur ces aspects, seul un participant sur deux repère la reproductibilité et la robustesse.

La formation scientifique des participants semble néanmoins influencer nettement sur leur capacité à les repérer : plus elle est poussée, mieux ils les identifient.

Les autres éléments dégagés par plus d'un tiers des participants sont la précision des mesures réalisées, la documentation des expériences et la présence de témoins garants.

Par ailleurs, seuls les docteurs en physique (7 sur 13) reconnaissent comme un élément de scientificité le fait de proposer des améliorations aux expériences réalisées.

75. Œuvres de Blaise Pascal, II, éd. Hachette, Paris, 193, pp.349-363. Accessible en ligne : http://fr.wikisource.org/wiki/Livre:C5%92uvres_de_Blaise_Pascal,_II.djvu (consulté août 2014).

2.2.6.2. Déroulements de classe

Un questionnaire écrit⁷⁶ a été rempli individuellement par les participants des groupes 45 et 38 en tout début de formation, avant même toute participation à des démarches d'investigation. Les situations de classe proposées dans ce questionnaire s'appuient sur des contenus suffisamment simples pour ne pas, *a priori*, poser de problème aux participants.⁷⁷

Pour chacune des situations présentées, les participants comparent la scientificité de deux suites possibles pour le déroulement qui est décrit. Un élément méthodologique est mis en avant dans l'une des suites proposées ou, parfois, dans les deux. Dans tous les cas, les formulations susceptibles de faire apparaître un élément méthodologique dans une suite et un autre élément dans l'autre suite sont évitées. Pour chaque situation de classe, l'élément méthodologique introduit est différent : reproductibilité, robustesse des expériences, navigation entre général et particulier ou test de la robustesse d'une loi.

8 situations ont été créées et proposées aux étudiants en licence de sciences (gp. 45, 8 étudiants) et 4 aux enseignants (gp. 38, 11 enseignants, situations 1, 4, 5 & 6 cf. méthodologie § 4.2.1.8.4.).

Seul un tiers des participants identifie un test de reproductibilité

Dans la première situation où il leur est demandé s'il est plus scientifique que l'enseignant fasse une seule expérience sur la solidification de l'eau avec prises de température par plusieurs élèves ou une expérience par groupe d'élèves, ils s'accordent tous à préférer la seconde solution. En revanche, alors qu'on les interroge spécifiquement sur la scientificité des démarches proposées, *seuls 3 participants dans chaque groupe justifient par la reproductibilité. Environ un tiers des participants (31%) justifie sa réponse à la première situation par le fait de s'assurer de la reproductibilité du phénomène.*

Près de la moitié des participants généralisent à partir d'un cas particulier

La situation 4 sur les sabliers propose aux participants soit de valider une conclusion générale formulée par les élèves en termes de "quantité de matière" à partir d'un seul cas particulier, celui du sable, soit de leur demander de tester différents matériaux. *Seuls 5 participants (26%) justifient leur choix en lien avec le test de la robustesse d'une loi ou d'une expérience. Par ailleurs 42% ne voient pas le problème posé par une généralisation à partir d'un cas particulier (8 participants sur 19 choisissent de généraliser directement après un travail sur le sable).*

Un participant considère même qu'il est inutile de tester avec des matières différentes, puisque le résultat sera le même :

Le but était de trouver ce qui permet de faire varier la durée d'écoulement. Les élèves trouvent que la quantité de matière influe sur la durée d'écoulement. C'est une réponse

76. cf. méthodologie § 4.2.1.8.4.

77. Pour nous en assurer, un "quizz" sur les contenus utilisés dans ce questionnaire a été proposé lors d'animations pédagogiques (gp. 51). 90% des enseignants testés ont par exemple répondu correctement à une question portant sur le fonctionnement des leviers.

judicieuse et on observerait la même chose avec du sel ou de la semoule donc inutile de refaire l'expérience (Mariska, gp. 45)

Seul un tiers des participants identifie un test de robustesse d'une loi

La situation 6 sur les équilibres propose deux prolongements de la séance par un test de la robustesse de la loi trouvée, on peut considérer que les deux déroulements proposés sont aussi scientifiques l'un que l'autre. Les résultats sont similaires à ceux obtenus pour la situation 4 : **5 participants (26%) considèrent que les expériences proposées testent de la robustesse de la généralité formulée.** Deux participants estiment cependant qu'une des suites avec le test de poids différents est inutile, l'expérience étant « *redondante par rapport à la situation initiale (ce qui n'est) pas très intéressant* » (gp. 38) pour le premier et « *un peu trop répétitive, les élèves vont obtenir une conclusion similaire à la précédente* » (gp. 45) pour le second.

6.2.3. BILAN : UNE REPRESENTATION DE LA SCIENCE PEU OPERATOIRE

L'une des motivations initiales de ce travail était l'intuition que nombre d'enseignants du primaire ne disposent pas d'une vision de la nature de la science assez claire pour fonder leur enseignement. C'est une difficulté relativement bien établie dans le monde anglo-saxon⁷⁸ et assez reconnue pour que les nouveaux programmes américains de l'école primaire incluent des éléments épistémologiques. Très peu de résultats sont disponibles en ce qui concerne le rapport à la science des enseignants du primaire français. Il était donc nécessaire de procéder à un état des lieux.

Les résultats de cette étude préliminaire confirment malheureusement l'intuition de départ : au même titre que leurs collègues américains, les enseignants français du primaire ne disposent très majoritairement que d'une vision rudimentaire, voire archaïque, et surtout peu opératoire de la nature de la science.

Selon une interprétation très charitable de leurs réponses, plus des deux tiers d'entre eux peuvent être considérés comme "empiristes" — au sens où ils évoquent d'une manière ou d'une autre le recours à l'expérience comme caractéristique de la science. Toutefois, ce plus petit dénominateur commun peut résulter, chez certains d'entre eux, d'un simple écho de la *doxa* de l'institution scolaire, et de la revendication de « l'esprit de la Main à la Pâte » dans les programmes. Le plus surprenant est donc que près du quart (24 %) des enseignants et futurs enseignants sondés se contentent d'une vision archaïque de la science, sans même franchir ce pas vers la notion d'expérience. *A contrario*, à peine 10 % d'entre eux associent à la science, peu ou prou, les notions de lois, de théorie ou de généralisation, ou plus généralement présentent une composante "rationaliste" dans leur profil épistémologique.

Il n'est donc pas surprenant que les enseignants sondés ne mettent spontanément en œuvre que des critères de scientificité au mieux très rudimentaires, comme, encore, le recours à l'expérience ou la présence de données chiffrées, au pire trompeurs,

78. Toutes les études sur les enseignants du primaire américains concluent que ces derniers n'ont pas, pour la plupart, de vision claire de la nature de la science. Elles sont cependant bien moins nombreuses que pour les enseignants du secondaire. cf. partie 2.1.

comme le recours à un vocabulaire technique, et d'une façon très générale peu discriminants. De même, sans formation spécifique, même minimale, la plupart d'entre eux apparaissent incapables d'identifier des éléments de scientificité pertinents, aussi bien dans une démarche d'investigation dont l'animateur prend soin de les rendre ostensibles que dans un texte choisi pour sa limpidité à cet égard.

Il serait certainement utile de reprendre cette évaluation de façon plus systématique et à l'échelle nationale. Toutefois, si l'on ne peut tout à fait éliminer la possibilité d'un biais systématique lié à la personne ou aux méthodes du praticien chercheur, son effet serait *a priori* relativement réduit, au moins en ce qui concerne les questionnaires initiaux, dont les résultats sont entièrement cohérents avec ceux de l'étude. D'autre part, si la vaste majorité des sujets exercent ou étudient dans les Alpes-Maritimes, les résultats obtenus avec des groupes-témoins d'autres origines ne présentent pas, comme on pouvait d'y attendre, de différences significatives.

Enfin, cette étude a porté sur plus de 1000 enseignants et futurs enseignants, soit une population suffisante pour éliminer la possibilité d'une fluctuation statistique, au moins au premier ordre.

6.3. Impact d'une D.I. "simple" sur l'expression de CS

La section 6.2 a permis d'établir que la représentation de la science des participants à l'étude était peu sophistiquée et peu discriminante. La section 6.1., que la participation à des démarches d'investigation simples s'avère efficace pour faire évoluer leur rapport à l'expérience. On considère ici l'impact de la participation à des démarches d'investigation "simples"⁷⁹ sur l'expression de CS.

Une hypothèse assez naturelle est que les moments où des stagiaires participent à ces démarches d'investigation sont des moments privilégiés pour l'émission spontanée de critères de scientificité. On s'intéresse donc maintenant à l'impact de la D.I. sur l'expression de critères de scientificité par les participants des formations déjà sondées en section 6.1. Pour cela on procédera en affinant progressivement le grain de la recherche et en élargissant son champ, des démarches d'investigation elles-mêmes aux discussions associées puis aux questionnaires réalisés par les participants en amont et en aval de la formation.

La section 6.1. a également révélé que les participants mobilisaient souvent de simples éléments méthodologiques pour caractériser la science : on procédera donc non seulement à la recherche de critères de scientificité mais aussi à celle d'éléments méthodologiques.

6.3.1. EXPRESSION SPONTANEE DE CRITERES DE SCIENTIFICITE

3.1.1. Repérage de CS "sur le vif"

Une séance en démarche d'investigation articule des moments où le meneur de jeu interagit avec l'ensemble du groupe, typiquement au lancement de l'activité et lors de la mise en commun, et d'autres où les participants travaillent par petits groupes de façon autonome.

On cherche dans un premier temps les critères de scientificité émis spontanément par les participants *in situ*, en prenant avantage de la position de praticien-chercheur. Celle-ci permet en effet de se déplacer entre les groupes de stagiaires et de les écouter sans susciter trop de perturbations, la relation de confiance étant établie avec les participants.

Une écoute focalisée

Le praticien-chercheur est particulièrement attentif à l'expression de CS lors des phases de recherche et lors des mises en commun. Ce sont les moments les plus susceptibles de déclencher des discussions relatives à la méthodologie. Les participants peuvent en effet y remettre en cause les résultats ou la méthode suivie. Ces remises en cause peuvent susciter des argumentations s'appuyant sur des critères de scientificité, en exprimant typiquement que « *ce qui est fait*

79. Pour mémoire, on a défini une démarche d'investigation simple comme une D.I. n'intégrant ni sondes épistémologiques, ni retours métacognitifs, ni apports épistémologiques frontaux (cf. Chapitre 2, § 2.4.1.1.).

n'est pas scientifique pour telle ou telle raison » ou qu'il faudrait « modifier telle ou telle chose pour que ce qui est fait soit plus scientifique ».

Dans le cadre de cette étude, répartie sur trois années, plus de 25 formations longues, soit environ 300 heures où 450 stagiaires étaient en démarche d'investigation "simple", ont fait l'objet d'une écoute attentive par le praticien-chercheur. (Tableau 3.1.1.)

2008-2009	2009-2010	2010-2011
PE1 gr. 5-12 (165 étudiants) FC gr. 14 (15 enseignants)	PE1 gr. 20-27 (146 étudiants) FC gr. 29 (10 enseignants)	M1 EEF gr. 32-37 (107 étudiants) FC gr. 38 (12 enseignants)

Tableau 3.1.1. : Formations utilisées pour le repérage "sur le vif" de CS (nombre de participants concernés)

Contre toute attente, le praticien-chercheur n'a jamais entendu aucun stagiaire faire appel à un critère de scientificité pendant une investigation.

Une expression rare de CS nécessitant une approche plus systématique

Contrairement à l'intuition initiale, il apparaît que la question de la scientificité de ce qu'ils sont en train de faire ne se pose pas spontanément aux participants à une démarche d'investigation. Notre analyse devra donc porter sur une portion au mieux très minoritaire des interventions des participants, entre eux où à l'attention du praticien-chercheur. La procédure "sur le vif" n'est pas suffisante dans ces conditions. En effet, ce dernier peut ne pas être présent sur un groupe au moment où un critère est exprimé ou ne pas l'entendre alors qu'il est en train de gérer une mise en commun. L'écoute systématique des enregistrements continus réalisés auprès de chaque groupe est un moyen de pallier cette difficulté.

3.1.2. Repérage de CS "hors ligne"

Une écoute peu concluante

Pour tester la validité du résultat précédent, les enregistrements audio de douze formations, soit au total 150 heures, ont été écoutés pour identifier des éléments qui auraient échappé à la perception du praticien-chercheur "sur le vif". Il n'a pas été possible d'identifier de CS exprimés par les participants.

Des CS introuvables dans les transcriptions

Deux formations ont été également retranscrites afin de chercher, ligne à ligne, la présence de critères de scientificité spontanés pendant les D.I. réalisées (cf. §4.2.1.6.2.). La première est la formation réalisée avec les étudiants futurs enseignants en formation initiale (PE1) du groupe 21 et la seconde est la formation continue réalisée avec les enseignants du groupe 38. Les transcriptions et un court synopsis de ces formations sont disponibles en annexe 6.D. et 6.E.

Sur plus de 1100 prises de parole des stagiaires, il n'a pas été possible d'identifier l'expression spontanée de critères de scientificité au cours des démarches d'investigation vécues par ces stagiaires.

Si des expressions spontanées de critères de scientificité ont néanmoins pu échapper à ces procédures successives, il semble toutefois établi qu'il s'agit d'événements très rares.

Contrairement à l'idée de départ, la démarche d'investigation simple ne semble pas provoquer significativement l'expression de critères de scientificité.

6.3.2. EXPRESSION SPONTANÉE D'ÉLÉMENTS DE SCIENTIFICITÉ

Dans un second temps, on cherche l'expression spontanée d'éléments de scientificité au cours des démarches d'investigation. Ces éléments peuvent en effet constituer une première étape avant l'expression de critères de scientificité, plus exigeante dans la mesure où elle implique par surcroît la notion de nécessité.

Les éléments de scientificité sont susceptibles de s'exprimer de diverses façons :

- Directement sous forme de "règles" ou d'expression de bonnes pratiques facilement identifiables. Typiquement, des expressions du genre « on ne peut pas généraliser à partir d'un seul cas particulier », « tant que l'on n'a pas essayé, on ne peut pas savoir », « pour être sûr du résultat, il faut refaire plusieurs fois l'expérience » renvoient à des éléments de scientificité (généralisation, recours à l'expérience, reproductibilité).
- Par opposition, sous forme de critiques de la méthode effectivement utilisée. Des expressions comme « tu ne peux pas faire comme cela », « refais ! », « il aurait fallu » sont autant de marqueurs possibles de l'utilisation d'éléments de scientificité.
- Indirectement sous forme de propositions de nouvelles expériences révélatrices d'une attention à certains éléments de scientificité. Par exemple, la formulation « regarde si cela change quelque chose de », peut signifier une attention portée à la robustesse.

Le praticien-chercheur est donc préparé à entendre de telles expressions et reste ouvert tout au long du travail à l'apparition de formulations originales.

Dans les formations d'adultes, le contenu inclut non seulement des démarches d'investigation, mais aussi des discussions périphériques portant sur leur mise en œuvre concrète dans la classe (aspect pédagogique) ou sur des apports notionnels plus magistraux. Les moments d'investigation alternent donc avec des moments de rupture, du fait du formateur ou des stagiaires en formation initiale ou continue. (Tableau 3.2.)

	PE1, gr. 21	FC 17h, gr. 38
% de prises de parole ayant lieu au cours de DI	52%	58%
% de prises de parole au cours de discussions pédagogiques ou notionnelles	48%	42%

Tableau 3.2. : Proportion des prises de paroles en démarche d'investigation et pendant des discussions pédagogiques ou notionnelles

Ces moments de rupture pouvant être également l'occasion pour les participants de s'exprimer ou de s'interroger sur des éléments de scientificité, on s'intéressera

successivement à leur expression au cours de l'investigation et dans les discussions périphériques.

3.2.1. Pendant les investigations

Il convient de distinguer les expressions d'éléments de scientificité "spontanées" de celles "provoquées". Ces dernières sont par définition immédiatement consécutives à une intervention du meneur de jeu portant sur l'élément correspondant. Lors d'une D.I. simple, il s'agit le plus souvent d'interventions à visée pédagogique pour amener les étudiants à prendre conscience d'une erreur de méthode ou pour les encourager à mettre à l'épreuve leurs idées (e.g. la question « *Comment fait-on pour savoir ?* »).

Sur le vif, le praticien-chercheur n'a qu'exceptionnellement entendu l'expression d'éléments de scientificité en dehors des moments où il a lui-même provoqué leur expression. Les transcriptions réalisées (gr. 21 et 38) sont donc scrutées pour permettre l'identification à la fois des éléments émis spontanément et en réponse à une sollicitation.

La recension des éléments de scientificité émis par les stagiaires pendant les investigations confirme que leurs commentaires, pertinents ou non, portant sur la scientificité des pratiques mises en œuvre ne représente que *moins de 1% des prises de paroles* durant les investigations. L'essentiel des prises de parole concerne la mise en œuvre de la démarche en cours et son transfert de la démarche en cours dans leur classe, ou encore les résultats obtenus.⁸⁰ Plus précisément, la recension ne fait apparaître que 16 occurrences pertinentes sur 2250 prises de paroles soit 0,7 % (Tableau 3.2.1.a).

	PE1, gr. 21	FC 17h, gr. 38
Nombre total de prises de paroles en D.I.	750	1500
Nombre de références à la primauté de l'expérience		3
Nombre de recours à l'expérience	3	5
Nombre de références à la cohérence externe	2	
Nombre de références à la reproductibilité	1	
Nombre de référence à la non scolasticité		2
Nb. total d'éléments méthodologiques exprimés	6	10
% d'éléments de scientificité formulés au cours de DI	0,8%	0,6%

*Tableau 3.2.1.a. : Pourcentage d'éléments de scientificité formulés au cours de DI
(nb. d'éléments exprimés/nb. de prises de parole en D.I.)*

Sur les 16 occurrences repérées ici, 9 sont provoquées par le praticien-chercheur (3/6 en gr. 21 et 6/10 en gr. 38). Elles portent essentiellement sur l'appel au recours à l'expérience pour valider un discours. Dans la mesure où c'est l'élément explicitement travaillé dans les démarches d'investigation, cela n'a rien de surprenant. (cf. Tableau 3.2.1.b.)

80. Les prises de parole totalement « impertinentes » sont très faibles. Ce sérieux apparent est sans doute en partie lié à la présence visible des enregistreurs. Les quelques conversations hors formation sont liées à des événements qui se produisent dans les classes ou les écoles des participants (e.g. accident d'un élève), concernent la gestion de leurs élèves, ou des échanges de pratiques sur l'enseignement d'autres disciplines scolaires comme le français (e.g. choix de lecture pour les élèves).

	Expression provoquée d'éléments de scientificité	
Primauté de l'expérience	— (Pr.-Ch.) Comment on pourrait vérifier toutes vos idées ? — (stagiaire 1) En se rendant sur place. — (Pr.-Ch.) On peut effectivement se rendre sur place. Je n'ai pas les moyens de vous emmener au Vietnam. — (stagiaire 2) Vous l'avez vérifié vous ? On va dire que quelqu'un va quelque part, s'est renseigné. — (Pr.-Ch.) Alors moi j'ai pris des photos. Et vous vous doutez bien que là, ce que je vais vous dire... — (stagiaire 2) Il faut qu'on vous fasse confiance. — (Pr.-Ch.) Et je n'ai pas envie que vous me fassiez confiance. — (stagiaire 2) J'en étais sûr (139-146, mise en commun des idées)	FC, gr. 38
Recours à l'expérience	— (Pr.-Ch.) On voit toujours la même face, oui. Comment on sait qu'on voit toujours la même face ? [de la Lune] — (stagiaire) Parce qu'on l'a observé. (493-494, mise en commun des conceptions)	FC, gr. 38
Recours à l'expérience	— (Pr.-Ch.) Alors il y en a qui sont sûrs que oui et il y en a qui sont sûrs que non, comment on fait pour vérifier ? — (Tous) On essaie ! (1380, phase de mise en commun des idées)	PE1, gr. 21
Reproductibilité	— (Pr.-Ch.) Vous me dites que la lune présente toujours la même face. Comment vous le savez ça ? — (stagiaire) Parce que c'est toujours la même chose qu'on voit. (377-378, recueil des conceptions)	PE1, gr. 21

Tableau 3.2.1.b. : Exemples d'éléments de méthodologie dont l'expression est provoquée par le praticien-chercheur

Seules 7 occurrences sur 16 sont exprimées spontanément par les participants. Elles portent sur la cohérence externe (2 occurrences), la non scolasticité (2 occurrences) et le recours à l'expérience (3 occurrences). (Tableaux 3.2.1.c.)

	Expression spontanée d'éléments de scientificité	
Primauté de l'expérience	— (stagiaire 1) Et pourquoi il ne ferait pas comme ça ? (mouvement rapide en arc de cercle au dessous de la boule) Il va là et il revient. Ah mais ce n'est pas possible car on verrait que le soleil revient dans l'autre sens dans le ciel. — (stagiaire 2) On ne le voit pas quand il revient dans l'autre sens donc il tourne effectivement comme ça. (fait un mouvement de cercle vertical). (1417-1418, phase de recherche)	FC, gr. 38
Recours à l'expérience	— (stagiaire 1) On va dire que là, ça commence. Là je suis dans la nuit à Nice car je suis dans l'ombre. (s'adresse à stagiaire 2) Viens ici tu ne vois pas ! — (stagiaire 2) Je te crois sur parole. — (Pr.-Ch.) Attention, on ne croit personne sur parole. (stagiaire 1) Viens et vérifie le résultat. (1387-1390, phase de recherche)	FC, gr. 38
Recours à l'expérience	— (stagiaire 1) Mais comment on le sait en fait que le soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest ? — (stagiaire 2) On le voit. — (stagiaire 1) Ok. Ça part de l'observation. (575, phase de recherche par groupe)	PE1, gr. 21
Cohérence externe	— (stagiaire 1) En Afrique il fait toujours plus chaud qu'en France, que ce soit en hiver ou en été, et en fait ce qui change c'est que quand elle tourne autour du soleil, ce n'est pas un cercle, c'est une ellipse, donc à un moment donné, là elle va être plus près du soleil que là. — (stagiaire 2) Oui mais logiquement, si toute la Terre se rapproche du soleil, toute la Terre est en été. En fait je ne savais pas que c'était inversé par rapport à l'équateur. (603, phase de recherche par groupe)	PE1, gr. 21

Cohérence externe	— (stagiaire) <i>C'est juste une question. Par exemple pour expliquer l'éclipse de lune, les rayons sont comme ça ou comme ça. Selon ce que l'on étudie, les rayons sont parallèles ou non. Ma question c'est : Par rapport à la situation que l'on étudie et au schéma que l'on doit faire, est-ce qu'on considère qu'ils sont parallèles ou pas ?</i> (274, fin de mise en commun)	PE1, gr. 21
Non scolasticité	— (stagiaire) <i>Ptolémée, c'est le premier qui a dit que c'était comme ça, l'autre il arrive, il dit autrement, comme les deux sont possibles, Ah le doute !</i> (1579, mise en commun) (FC, gr. 38)	FC, gr. 38
Non scolasticité	— (stagiaire 1) <i>Oui mais le Soleil doit être incliné.</i> — (stagiaire 2) <i>Un Soleil ne peut pas être incliné.</i> — (stagiaire 1) <i>On n'en sait rien.</i> (1681-1683, phase de recherche)	FC, gr. 38

Tableau 3.2.1.c. : Éléments de scientificité exprimés spontanément par les participants en investigation

Il semble donc que les stagiaires n'énoncent que très rarement des éléments de scientificité pendant les démarches d'investigations vécues et que leur expression reste d'ordre anecdotique.

3.2.2. Pendant les discussions

En formation initiale (PE1), on n'identifie pas d'éléments de scientificité dans les prises de parole des étudiants. Dans la mesure où l'accent est porté dans ces discussions⁸¹ sur le contenu et les étudiants focalisés sur la compréhension des connaissances, cela n'est pas surprenant.

De même, en formation continue, seules 7 interventions relèvent d'éléments de scientificité sur les 1086 prises de paroles hors démarche d'investigation⁸² (0,6% des prises de parole ; Tableau 3.3.2.).

	FC 17h gr.38	
Robustesse	— (stagiaire) <i>Imaginons, là je coupe, je pense à quelque chose. Si on n'a pas de poids, on prend de la pâte à modeler. Donc, ils vont faire eux-mêmes leurs personnages comme ils en ont envie. Et qu'ils fassent le même truc avec la pâte à modeler. Ça va revenir au même, ils l'auront fait eux-mêmes, on ne leur aura pas imposé de poids.</i> (110, interruption pendant D.I. sur Plouf !)	
Robustesse	— (Pr.-Ch.) <i>Et maintenant comment expliquer que le mouchoir reste sec ? On l'a dit déjà avant puisqu'on a fait le sac. Dans le pot c'est pareil il y a de l'air qui empêche l'eau de rentrer. Ca c'est l'idée qu'on a pour expliquer le phénomène.</i> — (stagiaire) <i>C'est bien parce qu'on pouvait imaginer que le sac se remplit d'air mais pas le pot.</i> (2249, D.I. sur l'air)	
Primauté de l'expérience	— (stagiaire 1) <i>Et qu'est-ce qui a fait qu'on a retenu [le point de vue du Soleil] ? C'est naïf ce que je vais dire, mais comme on ne peut pas se placer du point de vue du Soleil parce que de toute façon on ne peut pas y être.</i> — (stagiaire 2) <i>Ben si.</i> — (Pr.-Ch.) <i>On ne peut pas y être sur le Soleil.</i> — (stagiaire 1) <i>Par contre la Lune on peut y être. On pourrait très bien avoir un point de vue par rapport à la Lune.</i> (1949-1954, discussion sur la notion de point de vue)	

81. La transcription n'inclut pas les moments de cours magistraux où le praticien-chercheur expose des connaissances et les étudiants prennent des notes. Elle inclut en revanche les moments de transition qui ne sont pas encore du cours magistral mais qui ne sont plus de la démarche d'investigation, le praticien-chercheur assumant de nouveau le statut d'expert au sein de la classe. L'ensemble de ces moments représente 48% des prises de paroles transcrites.

82. Soit 40% du total des prises de parole

Recours à l'expérience	— (stagiaire) <i>Si on n'a pas observé les choses, on ne peut pas tirer les conclusions.</i> (1986)
Pouvoir explicatif	— (Pr.-Ch.) <i>Non il n'expliquait pas, son modèle faisait faire aux planètes des mouvements plus simples que Ptolémée mais Copernic n'expliquait pas plus que Ptolémée, donc c'est un choix.</i> — (stagiaire) <i>Est-ce que c'est scientifique ça ?</i> (1582-1583 discussion sur la notion de point de vue)
Transmission	— (stagiaire) <i>Mais moi je trouve que le schéma ça apporte un petit plus dans le sens où on tombe sur quelque chose de conventionnel que tout le monde peut lire et ça permet aussi de passer du schéma à la réalisation.</i> (1048, discussion sur la schématisation)
Non scolasticité / Primauté de l'expérience	— (stagiaire 1) <i>Nous on a tendance à dire : « oui on l'a constaté mais les scientifiques ont souvent des calculs bien plus compliqués pour nous prouver que ce n'est pas ça », on est formaté comme ça donc on a du mal...</i> — (stagiaire 2) <i>On raisonne dans le sens inverse des enfants.</i> — (stagiaire 1) <i>On a même du mal à accepter ce qu'on voit, je trouve. Après les enfants peut être pas.</i> — (stagiaire 3) <i>On nous a donné des vérités et donc on a du mal à les remettre en cause.</i> (2019-2022, discussion sur la notion de point de vue)

Tableau 3.2.2. : Éléments de scientificité identifiés au cours des discussions (gr. 38)

Les discussions périphériques n'apparaissent donc pas plus propices à l'expression d'éléments de scientificité que les démarches d'investigation elles-mêmes.

En dépit du dépouillement systématique des enregistrements de deux formations complètes, on n'a observé que très peu d'expressions d'éléments de scientificité, que ce soit pendant les démarches d'investigation ou lors des discussions périphériques.

6.3.3. EXPRESSION SOLLICITEE DE CS ET D'ÉLÉMENTS DE SCIENTIFICITÉ

On a établi dans le § 6.3.2. que les participants à l'étude n'expriment pas spontanément de CS *au cours* de l'investigation ou pendant les discussions périphériques (§ 6.3.1. et § 6.3.2). On élargit donc maintenant l'étude aux CS et éléments de scientificité que les participants expriment *sur sollicitation*, après la mise en place d'une démarche d'investigation. On s'intéresse particulièrement aux critères proches de ceux présentés en partie 5 et aux éléments de scientificité associés. Chaque formation est scrutée individuellement (3.3.1 à 3.3.5) puis les résultats synthétisés (3.3.6.).

3.3.1. Formation initiale (M1 EEF & PE1)

On constate que, lorsqu'ils s'expriment sur leurs pratiques, le nombre d'étudiants PE1 exprimant des éléments de scientificité proches de ceux proposés en partie 5 est très faible. Il n'évolue pas significativement après 3h et 6h de démarche d'investigation (7/36 et 7/31). (Tableau 3.3.1.a.)

Eléments de scientificité exprimés après 3h D.I. Ombres colorées (expérimentale), (7 occurrences, 36 Questionnaires)	Eléments de scientificité exprimés après 6h D.I. astronomie (modélisation), (7 occurrences, 31 Questionnaires)
Généralisation (3) — Nous avons généralisé grâce aux exemples — Nous avons fait des expériences, des manipulations pour en tirer des "théories" — C'était scientifique dans la mesure où le travail a permis d'aboutir à une conception générale Recul (1) — Le travail réalisé en classe est en partie un travail scientifique car nous avons utilisé une démarche qui consiste à faire un "aller-retour" entre la théorie et le réel Non scolasticité (1) — Plutôt que des connaissances apportées par le professeur, nous avons observé, manipulé, constaté Exhaustivité (1) — Prendre en compte tous les paramètres et en faire varier un seul à la fois Opportunité (1) — Ce déroulement était scientifique car chaque expérience découlait de la précédente	Recul (2) — C'était scientifique dans la mesure où il s'agissait d'un travail de modélisation — Cela aurait été plus scientifique si on avait choisi un modèle avec une échelle adéquate Cohérence interne (1) — Nous avons cherché à expliquer les phénomènes un à un tout en les reliant. Chaque hypothèse a été étudiée sous différents angles et grâce aux réponses précédentes Reproductibilité (1) — On aurait pu rendre plus scientifique la démarche en refaisant des expériences déjà réalisées par des physiciens et astronomes Robustesse (1) — Toutes les expériences se recoupaient et tendaient à montrer le même phénomène Transmission (2) — ...puis il y avait une mise en commun — ... en confrontant les idées de chaque groupe

Tableau 3.3.1.a. : Liste des éléments proposés par les PE1 (gr. 20-26) avec les extraits des questionnaires correspondant. Les étudiants sondés après 3 et 6 h de formation sont distincts.

Vivre des démarches d'investigation "simples" suscite donc l'émission d'éléments de scientificité opératoires chez moins de 20% des étudiants sondés. Chacun élément de scientificité est exprimé au maximum par 3 étudiants (soit moins de 10%). Par ailleurs, on constate que d'une séance à l'autre, les éléments exprimés ne sont plus les mêmes. Les étudiants étaient amenés à réagir sur la scientificité de la pratique de classe : il apparaît que les éléments formulés sont ceux qu'ils associent à ce qu'ils ont vécu. L'expression des éléments mobilisés pendant le cours reste toutefois très minoritaire.

Lorsqu'on leur demande expressément *via* un questionnaire général d'exprimer des critères de scientificité, ils s'avèrent pour plus de 80% d'entre eux capables de fournir des éléments de scientificité. Plus précisément, c'est le cas de 41 étudiants sur 54 (80%) de master EEF en début de formation, et de 45 en fin de cours (88%).

Néanmoins, 70% des éléments de réponse fournis par les étudiants portent sur la nature de la source, la présence de vocabulaire spécifique ou technique, la présence de schémas ou de chiffres.

Il semble donc que les étudiants s'appuient en grande partie sur des "signes extérieurs" de scientificité⁸³ pour distinguer ce qui relève de la science et ce qui n'en relève pas.

Les autres éléments plus proches de ceux retenus dans la partie 5 comportent moins de 4 réponses chacune. (Tableau 3.3.1.a.)

83. E. Thomm & R. Bromme (2012). "It Should at Least Seem Scientific!" Textual Features of "Scientificness" and their Impact on Lay Assessments of Online Information. *Science Education*, 96 (2), pp. 197-211.

Catégorie d'éléments de scientificité	Pré-Questionnaire (64 éléments de réponse)	Post-Questionnaire (74 éléments de réponse)
Nature de la source	16	21
Technicité du vocabulaire	12	14
Présence de schémas	12	10
Présence de données chiffrées	9	6
Sous Total	49 (76% des éléments)	51 (69% des éléments)
Appel à une autorité scientifique	4	3
Rigueur dans le travail	2	4
Précision dans le travail	2	4
Idee d'objectivité, de rationalité	2	1
Un document scientifique est réfutable	1	0
Reproductibilité	1	0
Aspect provisoire	1	4
Validation par la communauté scientifique	1	1
Construction de généralités et Relativité	1	0
Cohérence externe	0	3
Exhaustivité documentation	0	1
Non scolasticité	0	1
Existence de modèle	0	1

Tableau 3.3.1.b. : Éléments de réponses extraits des 54 pré et post-questionnaires des groupes 32-37 et répartition dans les différentes catégories. Les éléments sous le double-trait sont proches de ceux retenus en partie 5. Ils sont présentés en détail dans la suite du texte.

En début de formation, seuls 5 étudiants en formulent. En fin de formation, ils sont 11 étudiants (20% de l'ensemble des étudiants), dont 7 nouveaux à en formuler. Seul un étudiant conserve le même élément de scientificité dans le pré et post- questionnaire (Q80).

Avant formation :

- **Réfutabilité** : « Un document scientifique contient quelque chose de réfutable, basé sur l'expérience » (Q61⁸⁴)
- **Reproductibilité** : « Une même expérience présentera toujours les mêmes résultats si les données de l'expérience ne changent pas. » (Q42)
- **Aspect provisoire** : « C'est quelqu'un qui cherche la vérité par expérimentation et qui est capable de toujours la remettre en cause pour faire avancer la recherche. » (Q66)
- **Validation par la communauté** : « Si le document est scientifique, il doit être validé par la communauté scientifique » (Q80)
- **Généralisation et relativité** : « Un scientifique est quelqu'un qui à partir d'observations empiriques en déduit des généralités ainsi que le contexte dans lequel elles sont valables. » (Q87)

84. Le code Q61 signifie que la citation entre guillemets a été extraite du questionnaire de l'étudiant auquel le numéro 61 a été attribué, selon la nomenclature de l'annexe 6.A.a.

Après formation :

- **Aspect provisoire** : Un scientifique est un chercheur qui sait remettre en cause ce qu'il a pu trouver. (Q66)
[Un scientifique est un] professionnel qui est prêt à remettre en cause des principes à la lumière de nouvelles données (Q3)
Chaque explication ne doit pas être considérée comme vraie et définitive (Q42)
Toute conclusion tirée est vraie en attendant qu'un autre modèle la réfute (Q61)
- **Validation par la communauté** : Il est scientifique s'il a été validé par une communauté scientifique (Q80)
- **Cohérence externe** : Il faut confronter ce document avec d'autres pour comparer les hypothèses, les conclusions (Q7)
J'applique les critères ci-dessus [termes spécifiques, provenance des données] plus comparaison autres documents (Q44)
Je regarde la source et tente de comparer ce document à d'autres documents existants (Q63)
- **Exhaustivité de la documentation** : On peut qualifier un énoncé de scientifique si celui-ci répond à un problème ou une question posée en faisant apparaître toutes les expériences qui confirment ou infirment le résultat (Q31)
- **Non scolasticité** : C'est une personne qui ne prend jamais rien pour acquis (Q62)
- **Existence de modèle** : Il élabore des modèles pour y répondre (Q8)

On constate par ailleurs une assez grande stabilité des arguments utilisés par les étudiants dans les pré et post-questionnaires (Diagramme 3.3.1.c.).

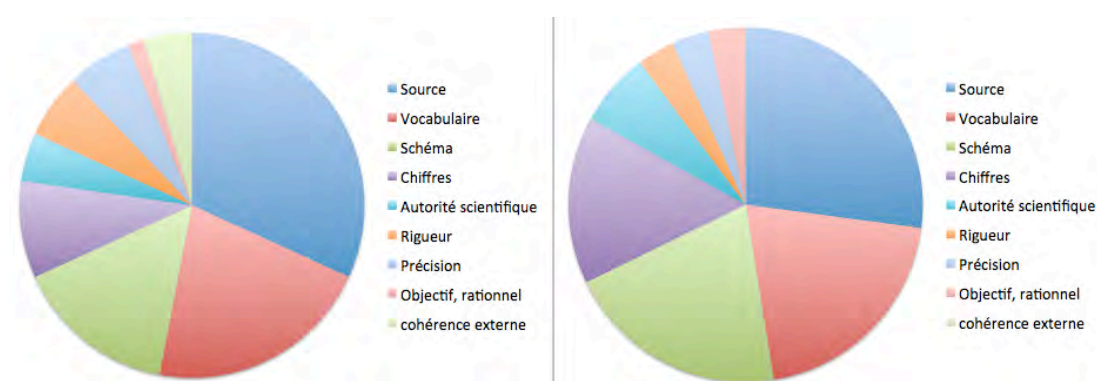


Diagramme 3.3.1.c. Répartition des éléments par catégorie en pré- (à gauche) et post-questionnaire (à droite)

L'expression d'éléments de scientificité proches de ceux retenus en partie 5 ou susceptibles de révéler une représentation sophistiquée de la science (e.g. réfutabilité) reste rare aussi bien en début qu'en fin de formation. Il est dans ces conditions difficile d'évaluer la part d'expression de ces éléments liée à la formation⁸⁵.

3.3.2. Formation continue

Les réponses aux questionnaires des stagiaires des groupes 14, 29 et 38 en début de formation font apparaître très peu d'éléments de scientificité que l'on peut relier à ceux proposés en partie 5. Ces éléments ne sont plus exprimés par les

85. Un travail confrontant les étudiants à un document erroné issu d'un manuel de préparation au concours et la remise en cause de leur copernicanisme pendant les cours peuvent être à l'origine de certains critères exprimés mais, même si tel est le cas, ils sont extrêmement peu nombreux à les formuler.

stagiaires en fin de formation (Tableau 3.3.2.a.). En revanche, d'autres stagiaires en émettent d'autres⁸⁶ également en très petit nombre (Tableau 3.3.2.b.).

Stage filé gp. 14	Stage 12h gp. 29	Stage 17h gp. 38
Non scolasticité (1) : <i>« Un scientifique ne prendra pas pour acquis une évidence » (Q1)</i> Reproductibilité et cohérence externe (1) : <i>« Quelque chose est scientifique après avoir été prouvé par expériences, en vérifiant les résultats sur la durée, ou bien les confrontant avec d'autres résultats. » (Q3)</i> Reproductibilité (2) : <i>« Si on peut le reproduire » (Q4) ; « Une chose scientifique peut se reproduire » (Q13).</i>	Non scolasticité et aspect provisoire (1) : <i>« Un essai d'explication / n'est pas du domaine de la croyance, ni des certitudes » (Q9)</i> Robustesse (1) : <i>« Plusieurs preuves convergent. » (Q3)</i> Généralisation (1) : <i>« Un scientifique généralise ses observations. » (Q10)</i>	Univocité (1) : <i>« Pour moi une production scientifique doit être claire, objective, c'est à dire qu'elle doit s'appuyer sur un vocabulaire bien spécifique ne faisant l'objet d'aucune interprétation possible. » (Q4)</i> Reproductibilité (1) : <i>« Ses résultats sont vérifiables, mesurables ou quantifiables et peuvent être reproduits. » (Q8)</i> Généralisation (1) : <i>« On part d'un constat, on arrive à une conclusion que l'on peut généraliser. » (Q6)</i>
	Présence de calculs (2), (Q2, Q6) Jeu sur les stéréotypes de la science (1) : <i>« Lorsque 78% de la population ne le comprend pas » (Q1)</i>	Présence de vocabulaire technique (4) Présence de schémas (3) Présence de chiffres (1) Présence de rigueur (1) Recours à l'autorité scientifique (1)

Tableau 3.3.2.a. : Éléments de scientificité formulés par les stagiaires en début de formation. Les éléments au dessus du double-trait sont proches de ceux retenus en partie 5.

Stage filé gp. 14	Stage 12h gp. 29	Stage 17h gp. 38
Communication (1) : <i>« Une personne qui est capable de partager avec les autres ses expériences. » (Q12)</i> Aspect provisoire (2) : <i>« Une personne qui peut remettre en cause un principe établi. » (Q1) ; « Il faut admettre qu'il n'y a pas toujours de réponses définitives. » (Q11)</i> Non scolasticité (1) : <i>« Ne pas donner des réponses toutes faites mais amener à réfléchir, au delà des certitudes implicites. » (Q5)</i>	"Reproductibilité de la démarche" (1) (Q7)	Aspect provisoire (2) Relativité de la connaissance (2)

Tableau 3.3.2.b. : Éléments de scientificité formulés par les stagiaires en fin de formation.

Une discussion sur la nature de la science a par ailleurs été réalisée en fin de stage pour les groupes 14 et 38.

Les participants à cet échange final du groupe 14 n'ont énoncé aucun critère de scientificité. Les questions de nature épistémologique ont suscité peu de réponses portant sur la nature de la science, les stagiaires se "défaussant" le plus souvent en fournissant des réponses focalisées sur l'aspect pédagogique de la démarche (cf. 6.1.).

86. Il n'est pas possible de savoir s'il s'agit ou non des mêmes stagiaires qu'en début de formation.

Pour le groupe 38, la discussion finale a été précédée d'une discussion entre stagiaires. Les discussions entre stagiaires ont suscité quant à elles l'expression de six éléments de scientificité :

— **primauté de l'expérience (3) :**

Ma vision des sciences a changé là : il faut expérimenter. Donc si tu n'essayes pas, tu restes avec tes idées toute ta vie. (2589) ;

En effet, le fait de manipuler leur permet de comprendre. Ca va leur enlever des croyances. (2603) ;

Mais à un moment tu as les faits qui parlent. (2641)

— **aspect provisoire (2) :**

Il faut expliquer que les sciences peuvent évoluer, en disant dans le résumé par exemple : "à ce jour, les scientifiques pensent". (2686) ;

[- Et maintenant je pense que c'est une démarche mais ce n'est pas un aboutissement. Donc il reste toujours un doute. Donc on accepte des vérités, jusqu'à ce que quelqu'un d'autre vienne les contredire. (questionnaire initial : *On ne peut dire ou écrire que si c'est universellement admis ou bien si l'on cite un scientifique reconnu*) - Donc tu veux dire que rien n'est jamais acquis ? - Oui, rien n'est jamais fixé car la science bouge. La Terre bouge (référence à la séance en Astronomie) - Il y a toujours des chercheurs qui peaufinent ce qui a déjà été fait. - Donc tant qu'il y aura des chercheurs, il y aura des doutes. (2590-2597)]

— **communication (1) :**

Un scientifique émet une hypothèse, il fait tout pour le prouver et les autres scientifiques se mettent d'accord. (2607)

— **honnêteté (1) :**

Il ne faut pas tricher pour dire absolument que c'est possible. Parce que ce qu'on disait n'est pas toujours possible. Y'en a qui veulent absolument que leur hypothèse soit juste. Mais il faut être modeste dans la recherche. (2608, référence au déroulement de la D.I. sur *Plouf* !)

— **cohérence externe (1) :**

L'hypothèse doit être cohérente [avec les faits], et l'argumentation essentielle (2609)

— **relativité (1) :**

J'ai mis une vision plus romantique des sciences, pas un seul point de vue (2625) (en lien avec le questionnaire final Q4 : « *Une vision sans doute plus relative des sciences. Pas un seul point de vue* », référence à la séance en astronomie)

L'échange collectif a fait intervenir les mêmes éléments de scientificité lors de trois dialogues : deux échanges articulent refus de l'argument d'autorité et primauté donnée à l'expérience ou aspect provisoire du savoir et un troisième porte sur la primauté de l'expérience. Les éléments exprimés pendant la discussion font le plus souvent référence à des événements marquants du stage au cours duquel les stagiaires ont vécu à de nombreuses reprises en cause de leurs idées et ont été émotionnellement marqué par le travail sur la relativité du mouvement.

La discussion de nature épistémologique entre stagiaires puis avec le formateur suscite l'expression d'éléments de scientificité liés aux événements marquants de la formation plutôt qu'à une réflexion sur la méthodologie scientifique. Les critères de reproductibilité et de robustesse sont ainsi absents des échanges.

Cette discussion s'avère être aussi un moment de formation des stagiaires (« *Moi, depuis ce matin, j'ai appris beaucoup de choses* ») où ils expriment leurs difficultés à distinguer science et non-science.

— *Mais alors, comment on sait ce qui est scientifique ou pas ?*

— *Qu'est-ce qui te fait dire que justement c'est n'importe quoi [ce qui est écrit] ?*

— *Alors dites-nous comment on reconnaît un article scientifique ou pas ?* (2771-2780)

3.3.3. Une expression d'éléments de scientificité qui reste rare

Qu'il s'agisse de formation continue ou initiale, on constate que les participants n'expriment que rarement des éléments de scientificité proches de ceux proposés en partie 5. *Toutes formations confondues, chaque élément exprimé l'est à chaque fois par moins de 5% des participants et les éléments relatifs à l'expérimentation, comme la reproductibilité ou la robustesse, ou à la méthodologie, comme le recul ou l'exploitation du spectre de généralité, ne sont quasiment jamais cités (moins de 2% des participants).*

Au total, c'est moins de 25% des participants qui expriment un élément de scientificité proche de ceux proposés en partie 5 en fin de formation.

Formation (Nb de participants)	M1EEF (81)	PE1 (67)	SF (14)	FC12h (11)	FC 17h (10)	Total (183)
Aspect provisoire	5		2	1	2	10
Communication / Transmission	1	2	1		1	5
Cohérence externe	4				1	5
Non scolasticité	3	1	1			5
Reproductibilité		1				1
Exhaustivité	2	1				3
Existence de modèle	1	2				3
Recul		1				1
Validation par la communauté scientifique	1					1
Robustesse		1		1		2
Généralisation		3		1		4
Opportunité		1				1
Cohérence interne		1				1
Honnêteté					1	1
Relativité					1	1
Primauté de l'expérience					3	3

Tableau 3.3.3. : Synthèse des éléments de scientificité exprimés

Notons que c'est dans la discussion collective qui fait suite à la rédaction du questionnaire et à une discussion en petit groupe que les stagiaires expriment le plus clairement des éléments de scientificité (gr. 38, FC 17h). Mais cette discussion les conduit à reconnaître leur impuissance à distinguer quelque chose de scientifique de quelque chose de non scientifique et à réclamer des apports épistémologiques.

Un échange sur la scientificité de l'astrologie provoqué par le praticien-chercheur conduit alors à l'émergence du critère de reproductibilité, qui n'était pas apparu spontanément au cours des échanges entre stagiaires et qui n'avait été identifié que par 3 enseignants sur 11 lors du questionnaire intermédiaire (cf. 6.2.2.6.2.)

- *Donc c'est quelque chose qui ne peut pas se répéter identiquement donc ce n'est pas de la science. (2785)*
- *On n'obtiendra jamais les mêmes résultats donc ce n'est pas de la science. (2787)*

Cet élément de scientificité semble immédiatement approprié par les stagiaires :

- *On fait des petits groupes, par exemple trois petits groupes. La même expérience sera alors refaite trois fois et on aura trois fois le même résultat.*

- Et on ne fera la trace écrite qu'à partir du moment où tous les groupes auront trouvé le même résultat. Autrement, si chaque groupe trouve un truc différent, on dit qu'on ne peut rien en conclure. Soit on refait les expériences, soit on dit que ce n'est pas concluant, soit il faut trouver une autre expérience.
- On peut recommencer si on s'aperçoit que certains groupes n'ont pas trouvé la même chose que les autres car il y a peut-être eu une erreur pendant l'expérimentation. (2794-2796)

3.3.4. Bilan d'étape

On vérifie que la participation des stagiaires à des D.I. simples peut avoir un impact significatif sur leur rapport à des éléments de scientificité travaillés explicitement et systématiquement. C'est en particulier le cas du recours à l'expérience en substitution de l'argument d'autorité et de l'idée qu'une expérience est réalisée pour répondre à une question.

On constate en revanche une carence presque totale d'expression des éléments de scientificité proposés en partie 5 ou de variations proches (moins de 20% en fin de formation). Ce résultat est assez inattendu dans la mesure où les participants sont amenés à les mettre en œuvre pendant leur formation (c'est typiquement le cas de la reproductibilité). Ils sont moins de 2% à exprimer les critères de primauté de l'expérience, reproductibilité, robustesse, recul ou exploitation du spectre de généralité.

Participer à des démarches d'investigation simples ne semble donc pas suffire à induire une vision un tant soit peu sophistiquée de la nature de la science.

6.4. Impact d'une D.I. enrichie sur l'expression de CS

Cette section porte sur l'impact de l'enrichissement de la démarche d'investigation par des retours métacognitifs (6.4.1.) ou par des apports méthodologiques explicites (6.4.2.) sur l'expression et la construction de critères de scientificité.

On définit ici un enrichissement métacognitif comme un ajout à la démarche d'investigation invitant les participants à réfléchir à la scientificité de leur pratique de classe, mais sans que le meneur de jeu n'introduise de considérations méthodologiques, ni *a fortiori* de critères de scientificité. L'enrichissement méthodologique consiste à introduire explicitement des éléments méthodologiques choisis par le praticien-chercheur.

6.4.1. ENRICHISSEMENT METACOGNITIF

On cherche à déterminer l'impact d'un ajout métacognitif sur la démarche d'investigation pour la construction de critères de scientificité. Dans un premier temps, le contexte de l'étude et les données recueillies sont présentés. Dans un second temps, les critères de scientificité et éléments méthodologiques exprimés par les participants pendant la formation sont identifiés. Enfin, les réponses des participants lors du bilan permettent d'évaluer l'impact de l'enrichissement métacognitif sur leur appropriation de CS et d'éléments de scientificité.

4.1.1. Contexte de l'étude

Les moments de retour métacognitif consistent concrètement en des discussions de nature épistémologique entre participants, une question étant ritualisée par le praticien-chercheur : « *Est-ce que ce qu'on a fait ensemble était de la science et en quoi ?* ». Son rôle consiste alors à poser des questions susceptibles de faire avancer la réflexion des étudiants sans donner son point de vue sur les éléments proposés, un bilan en fin de formation permettant de répondre aux questions des étudiants.

Exemples de formulation :

Est-ce que ce qu'on a fait cette après-midi était de la science ? Un cours magistral d'astronomie aurait-il été plus scientifique ? Pourquoi ? (Pr.-Ch., 7/11/2011, gp. 45)

Ce qu'on a fait ce matin était-il plus ou moins scientifique que ce que l'on a fait cet après-midi ? Est-ce que c'était scientifique déjà ? En quoi ? (Pr.-Ch., 8/11/2011, gp. 45)

À votre avis, est-ce qu'aujourd'hui on a fait des sciences ? En quoi ? (Pr.-Ch., 9/11/2011, gp. 45)

L'approche par démarche d'investigation enrichie d'ajouts métacognitifs a été testée lors d'une unité d'enseignement portant sur l'enseignement des sciences⁸⁷ d'une

87. Sept étudiants en licence 2 du parcours Sciences et culture et un enseignant d'école primaire y ont participé. Les étudiants ont validé une première année de licence en biologie ou en physique mais ont une compréhension initiale faible à la fois des concepts élémentaires physiques et de la nature de la

durée de 50 h (gp. 45). L'étude porte sur les 20 dernières heures de formation,⁸⁸ concentrées sur une semaine, au cours desquelles il a été régulièrement demandé aux participants de réfléchir à la scientificité de leur pratique.

Les discussions se situent pour l'essentiel en tout début de cours et font suite à un travail de réflexion demandé en fin de cours précédent.

En plus des questions générales portant sur la scientificité des pratiques du cours, il a été régulièrement demandé aux étudiants d'identifier les éléments admis pendant les cours pour les inciter à réfléchir au statut des témoignages et des arguments d'autorité en D.I.

Les questions posées par le praticien-chercheur sont détaillées dans l'annexe 6.F. avec le repérage des prises de parole dans les transcriptions de l'annexe 6.G.a-e.

Les données recueillies sont de deux types : questionnaire et enregistrements vidéo à partir desquels a été réalisée une transcription des échanges verbaux. En tout début de formation, les participants ont rempli un questionnaire⁸⁹ permettant de recueillir leurs critères de scientificité spontanés ; ils ont également répondu à un questionnaire⁹⁰ leur demandant d'évaluer la scientificité de différentes pratiques de classe après 3h de formation.

L'ensemble des réponses aux questionnaires est disponible en annexe 6.H. La transcription des vidéos représente 7054 prises de parole⁹¹.

4.1.2. Expression de CS et d'éléments de scientificité en cours de formation

4.1.2.1. Pendant les D.I.

On identifie dans un premier temps les CS exprimés pendant les démarches d'investigation. *Sur plus de 4900 prises de parole en D.I., on ne relève aucune expression de CS et seulement 26 expressions d'éléments de scientificité soit 0,6% des prises de parole.*

Sur ce total, 10 occurrences sont spontanées, et 16 provoquées par le praticien-chercheur. (Tableau 4.1.2.a.)

science (cf. Annexe XXX). L'enseignant de primaire se destine à l'encadrement d'un centre *La Main à la Pâte* et a été déchargé de classe pour se former.

88. En amont de l'étude, les participants ont vécu onze démarches d'investigation "simples". Deux D.I. ont été menées par le praticien-chercheur (ombres colorées et Eratosthène, 6h de cours) et neuf autres leur ont été proposées sous la forme d'ateliers d'une durée de 30 minutes environ animés par les étudiants en L3 du même parcours Sciences et culture. Ces ateliers ont été co-analysés avec le praticien-chercheur en vue de leur mise en place sur une Fête de la science (durée totale, 12h). Les étudiants ont ensuite animé ces ateliers pendant 4 jours (20h) pour des groupes de 8 élèves suivant le principe des jardins des sciences (cf. annexe 2.A.).

89. Gp 45. Questions posées en début de cours : « *Comment faites-vous pour savoir si quelque chose est scientifique ?* », « *Pour vous, c'est quoi faire des sciences ?* », « *Comment faites-vous pour reconnaître un scientifique ?* » et « *Pour vous, que signifie enseigner les sciences ?* ».

90. Le questionnaire posé après 3h de formation est disponible en partie méthodologie (4.2.1.8.4.).

91. Dont 60% sont réalisées par les participants. Sur l'ensemble des prises de parole, 70% ont lieu en démarche d'investigation (4930) et 13,5% pendant des discussions périphériques (950). Les retours réflexifs constituent 16,5% des prises de parole (soit 1163). Une discussion collective sur la nature de la science clôt la formation et fait office de bilan.

Eléments méthodologiques spontanés		Eléments méthodologiques provoqués	
Recours à l'expérience	2	Recours à l'expérience	5
Primauté de l'expérience	2	Reproductibilité	2
Cohérence lexicale	2	Cohérence lexicale	1
Reproductibilité	3	Distinction expérience/modèle	1
		Robustesse d'une loi	2
Cohérence externe	1	Relativité	1
		Refus de l'argument d'autorité	2
		Simplicité	2
Total	10	Total	16

Tableau 4.1.2.1. : Éléments méthodologiques exprimés pendant la DI

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus lors des démarches d'investigation simples (cf. 6.3.2.1.).

L'enrichissement métacognitif ne semble donc pas favoriser significativement l'expression de critères de scientificité ou d'éléments de scientificité pendant les démarches d'investigation au-delà du faible niveau déjà observé dans le cas de la D.I. simple.

Notons que la reproductibilité n'est spontanément exprimée par les stagiaires qu'après l'avoir été par le praticien-chercheur. Cette reprise se fait dans un premier temps dans des termes comparables à ceux du praticien-chercheur ; puis l'élément de scientificité est réutilisé avec des formulations différentes (cf. ci-dessous).

Pour conforter cette observation, le praticien-chercheur a à plusieurs reprises choisi un vocabulaire non standard, par exemple des anglicismes comme "double-check" (pour "vérification indépendante").

Exemples de reprise par les participants d'une remarque du praticien-chercheur sur la reproductibilité :

- (Pr.-Ch.) Il faut au minimum *double check*. Si il n'y en a qu'un qui n'est pas d'accord, qu'est-ce qu'on fait ?
- (Adrien) On invalide. (8/11 ; 1068-1069)

- (Pr.-Ch.) Donc la glace fond à zéro degré et ça monte tout de suite ? Alors est-ce que quelqu'un veut bien venir me lire la température ?
- (Camille) *Double check*.
- (Pr.-Ch.) C'est important ?
- (Adrien) Oui. (10/11 ; 1941-1944)

- (Adrien) Ca a fondu. Donc ça fait qu'on ne pourra pas reproduire l'expérience. Ben c'est vous qui nous avez dit qu'il fallait multiplier les expériences pour la fiabilité. (10/11 ; 1556-1560)

4.1.2.2. Pendant les ajouts métacognitifs

Sur les 1163 prises de parole au cours des discussions métacognitives, les étudiants n'expriment aucun critère de scientificité *stricto sensu*. On identifie en revanche 95 prises de parole (8%) incluant un élément de scientificité. Pour

modeste qu'il soit, ce taux n'en est pas moins supérieur d'un ordre de grandeur à celui qu'on observe pendant les démarches d'investigation (0,6%).

L'ensemble des prises de parole incluant un élément de scientificité ont été isolées des transcriptions et sont disponibles en annexe 6.I.

Sur ces 95 occurrences, 24 portent sur le recours à l'expérience pour tester des hypothèses, 20 sur l'association de la science à un questionnement, 9 sur le rapport à l'autorité et 9 sur l'émission d'hypothèses. On retrouve donc dans les discussions métacognitives une proportion importante d'éléments travaillés explicitement au cours des D.I. (62% des éléments exprimés, cf. § 6.1.).

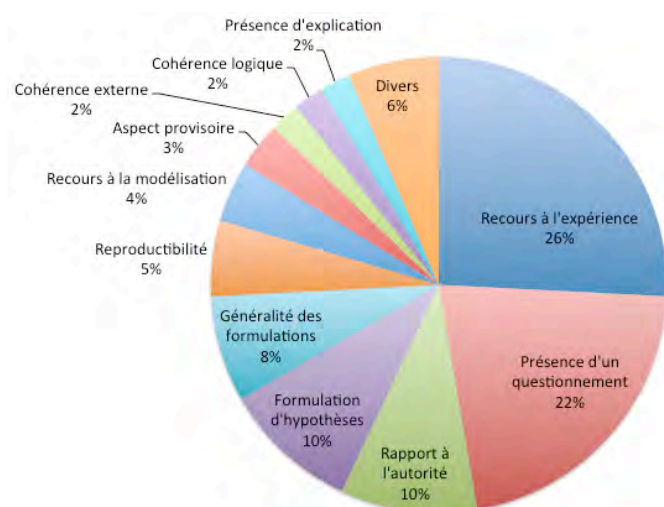


Diagramme 4.1.2.2. : Proportion des différents éléments méthodologiques exprimés au cours des discussions métacognitives

Exemple de prise de parole intégrant des éléments méthodologiques :

« Alors, je pense que ce qu'on a fait cet après-midi était un cours de science car on a répondu aux questions que l'on s'était posées faisant une expérience. On a d'abord dit tout ce qu'on savait sur le sujet étudié, c'est-à-dire la lune et ensuite on a répondu aux questions à chaque fois à l'aide d'une expérience pour ne pas admettre une réponse. J'ai utilisé ce mot mais je ne sais pas trop si il est bien... Admettre. Pour ne pas admettre une réponse. » (Mariska ; 8/11 ; 10-12)

Les 36 autres occurrences se répartissent sur 13 éléments de scientificité différents. Seuls deux éléments de scientificité dépassent 4 occurrences : la reproductibilité (5) et la présence de formulations générales (7). Les étudiants citent trois fois l'aspect provisoire de la science ; les autres éléments sont cités une ou deux fois.

D'une façon générale, les éléments de scientificité peu exprimés le sont suite à une démarche d'investigation les ayant directement et explicitement mobilisés.

Exemple d'expression d'élément de scientificité exprimé en référence à une D.I. :

— Dans la procédure il faut qu'on soit tous d'accord et que si on découvre par exemple... c'est bien parce que tu nous a fais toucher le truc de la paille, c'était bien parce qu'on s'est aperçu qu'on n'avait pas procédé de la même manière. Ca c'est important aussi. À un moment donné, après avoir essayé, on se dit pourquoi toi t'as bouché, pourquoi

- pas toi. Et après on se dit bon ben on bouche tous. C'est dans la façon de faire l'expérience parce que si on ne fait pas tous de la même manière c'est sûr que...*
- (Pr-Ch) *Donc se mettre d'accord sur la procédure.*
 - *Oui ou alors la chercher. Mais après, une fois qu'on a trouvé un truc, se dire bon, on fait tous pareil. (Jean-Luc ; 10/11 ; 221-223)*

4.1.3. Appropriation

La formation s'est achevée par une discussion collective sur la nature de la science en présence d'Éric Picholle, avec lequel les étudiants suivaient par ailleurs un cours d'épistémologie. La transcription complète de cette discussion est disponible en annexe 6.J.

Une telle procédure favorise l'élucidation des idées des étudiants en permettant de rebondir sur leurs formulations. Elle permet également, dans le petit groupe considéré,⁹² l'expression de désaccords, les étudiants interagissant volontiers.

Un inconvénient est cependant qu'une fois une idée émise par un participant, les autres n'éprouvent pas le besoin de l'exprimer de nouveau s'ils sont d'accord.

Les éléments de scientificité appropriés massivement sont les mêmes qu'en D.I. simple.

Pour les étudiants, faire des sciences, c'est avant tout :

- se poser une question
- chercher la réponse en faisant des expériences (ou des modélisations, suite au travail mené en astronomie)
- accepter toutes les idées tant qu'elles ne contredisent pas les faits
- refuser une affirmation en absence de preuve expérimentale.

Ils s'appuient essentiellement pour répondre sur ce qu'ils ont vécu en cours. On retrouve donc ici l'expression des mêmes éléments de scientificité que lors de démarches d'investigation simples :

- recours à l'expérience,
- opportunité de l'expérience
- refus de l'argument d'autorité.

Au-delà de ces quelques éléments, les étudiants éprouvent de grandes difficultés à s'exprimer en termes de scientificité.

Leurs réponses dépassent rarement la simple association science/réponse à une question par l'expérience. Ils apparaissent ainsi souvent mal à l'aise quand on leur demande d'aller plus loin et s'expriment avant tout sur sollicitation.

92. 7 étudiants et un enseignant. Il a été demandé à l'enseignant de ne pas intervenir dans la discussion afin de ne pas introduire de difficultés d'analyse supplémentaires et de ne s'exprimer qu'en fin de discussion. Ce dernier a en revanche participé normalement à l'ensemble de la formation et a, par exemple, régulièrement insisté sur l'importance de la reproductibilité.

Exemple de réaction d'étudiant :

- (Pr-Ch) *Alors est-ce que vous repérez dans ce que l'on a fait des choses qui sont plutôt des bonnes pratiques ou qui n'en étaient pas, ou en était moins ?*
- (Adrien) *Ben je ne sais pas, je ne vois pas vraiment où vous voulez en venir puisqu'on a tout le temps à peu près, on s'est tout le temps dirigé de la même façon, on a à peu près...*
- (Pr-Ch) *Comment vous caractériseriez ce que l'on a fait...*
- (Adrien) *Soit on part d'une situation donnée, soit on part d'une situation qu'on se donne en observant un fait ou une expérience. Après on se pose des questions sur ce qui paraît le plus réaliste sur les causes qui nous posent problème et après on essaie de le prouver d'une autre façon. (5-8)*

Il est alors nécessaire de reformuler la question à plusieurs reprises pour que les étudiants proposent d'autres éléments de scientificité.

Par exemple :

- (Pr-Ch) *Si vous vous mettiez à ma place et que vous aviez des étudiants comme vous êtes. Quand vous allez faire des choses avec eux, à quoi vous allez être attentifs pour dire, "tiens ce que je vais faire là, je vais faire attention à", "pour faire des sciences, je vais faire attention à telle et telle chose quand je vais intervenir avec eux" (43)*
- (Pr-Ch) *Si vous vous rédigez un pense-bête de ce à quoi vous allez faire attention, de ce que vous ne laisserez pas passer quand vous serez avec les étudiants, vous écririez quoi ? (45)*

Cette stratégie trouve toutefois rapidement ses limites. Même lorsqu'on pousse les étudiants à formuler de nouveaux éléments, ils tendent à contourner la réponse en termes de scientificité et à répondre plutôt d'un point de vue pédagogique.

Par exemple :

- (Pr-Ch) *En termes de méthode, quand ils vont faire des choses, est-ce qu'il y a des choses auxquelles on doit être vigilants ?*
- (Mariska) *Oui, déjà pour la sécurité (95-96)*

Les relances et le recadrage des questions s'avèrent en conséquence indispensables pour obtenir des réponses.

Par exemple :

- « *Qu'est-ce que vous voulez dire par là ?* » (55)
- « *Vous avez ressenti la même chose ou pas ? Vous pensez aussi que c'est quelque chose à quoi il faut faire attention ? Quoi d'autre encore ?* » (75)
- « *Ce n'est pas au même niveau. Que tout le monde ait compris, c'est en termes de pédagogie, que tout le monde observe c'est en termes de méthode. Maintenant on parle en termes de méthode.* » (105)

L'expression d'éléments de scientificité autres que le recours à l'expérience ou le refus de l'argument d'autorité nécessite un guidage du praticien-chercheur. Les étudiants n'expriment ni spontanément, ni facilement, des éléments de scientificité qu'ils ont pourtant exprimé au cours des discussions métacognitives en lien avec le travail de classe. Lorsqu'un étudiant fournit quelques indices d'une référence à un élément méthodologique et que le praticien-chercheur pousse dans cette direction, non seulement un guidage de ce dernier est nécessaire pour y parvenir mais, surtout, les autres étudiants ne l'aident pas, chose pourtant habituelle dans ce groupe soudé lorsqu'ils "savent la bonne réponse".

C'est typiquement le cas pour la reproductibilité qui n'est pas spontanément perçue comme un élément de scientificité par les étudiants, alors même qu'ils

l'ont mobilisée pendant les démarches d'investigation et sont capables de justifier son importance. (Tableau 4.1.3.)

56	Aurélie	— Faire en sorte que tout le monde réussisse l'expérience. Par exemple quand ils avaient raté l'expérience, vous les avez aidés à la refaire. En fait tout le monde l'a refaite pour retrouver, pour qu'on ait tous les mêmes résultats.
57	Pr-Ch	— OK, et comment on a fait cela ?
58	Aurélie	— Ben on a refait et on a remis en place étape par étape pour qu'on suive bien chaque étape, la même. Qu'on ne fasse pas chacun de son côté l'expérience différemment.
59	Pr-Ch	— Pour s'assurer que...
60	Aurélie	— Que les étapes sont suivies enfin.
61	Pr-Ch	— Que si on fait la même chose, tout le monde trouve...
62	Aurélie	— La même chose

Tableau 4.1.3.a. : Exemple d'échange amenant un étudiant à s'exprimer sur la reproductibilité

On retrouve la même difficulté lorsqu'il s'agit d'exprimer la nécessité de tester la robustesse d'une expérience ou d'une loi (e.g. prises de parole 153-174 et 264-317).

153	Pr-Ch	— Alors sur l'air par exemple, est-ce que vous avez quelque chose qui avait un lien avec cela ?
160	Adrien	— Ben les règles qu'on a sorties c'est quand l'air sort l'eau rentre. Jusque là c'est bon, je ne dis pas de bêtises. Et donc dans la démonstration on n'a pas précisé que c'était avec un seau, une bouteille, un carton. Donc la démonstration elle a été faite indépendamment de l'objet qu'on utilise.
161	Pr-Ch	— Je vous ai vu sourciller.
162	Camille	— Non mais, je ne sais pas. Faudrait tester avec d'autres, avec les éléments qu'il dit pour vraiment savoir. On ne peut pas, on ne peut pas... A certains trucs on pourrait dire oui ça va faire la même chose mais à certains trucs non. Comme le carton je ne pense pas que cela va faire la même chose. Même pas du tout. Je ne sais pas comment expliquer.
163	Adrien	— Il ne faut pas sous-estimer le carton.
164	Pr-Ch	— Est-ce qu'on l'a vu avec plusieurs matériaux ?
165	Adrien	— On a utilisé le pot en verre et la bouteille en plastique.
166	Pr-Ch	— Est-ce qu'on l'a juste fait avec la bouteille en verre et la bouteille en plastique ?
167	Aurélie / Camille	— Non, on l'a fait avec plein de choses différentes.
168	Adrien	— Avec quoi d'autre ?
169	Aurélie	— Ben je ne sais pas, enfin à chaque fois on a pris... Par exemple on l'a fait avec le baromètre mais avant on l'a fait autrement. Enfin, pour obtenir le même résultat mais avec des choses différentes.
170	Pr-Ch	— Et c'est important cela de faire des choses, de faire varier les conditions et de voir si on peut trouver la même chose ?
171	Aurélie	— Oui, cela permet de généraliser.
172	Camille	— Oui
173	Adrien	— Donc c'est bien ce que je disais, on peut généraliser.
174	Camille	— Oui mais, le pot en verre ce n'est pas un carton.

Tableau 4.1.3.b. : Exemple d'échange incitant les étudiants à s'exprimer sur la robustesse

Par ailleurs, les étudiants semblent avoir des difficultés à distinguer modèle et expérience (109-140).

Des éléments de scientificité "circonstanciels" ?

Il semble que les étudiants considèrent spontanément certains éléments de scientificité comme "incontournables", même s'ils ne l'expriment pas vraiment en termes de conditions nécessaires. C'est le cas :

- du recours à l'expérience,
- de l'opportunité et
- du refus de l'argument d'autorité.

Il apparaît également qu'ils n'éprouvent pas le besoin d'aller chercher d'autres éléments de scientificité au-delà de ces éléments immédiatement perceptibles au cours des démarches d'investigation simples. L'expression d'éléments de scientificité tels que la reproductibilité ou la robustesse reste souvent associée dans le bilan à des interventions du praticien-chercheur invitant les étudiants à se remémorer des événements précis au cours desquels le non-respect de cet élément a conduit à un travail explicite.

Exemples de relances du praticien-chercheur pour inviter les étudiants à s'exprimer sur la robustesse :

- « — Ah, j'ai une petite question concernant notre travail sur l'air. On a travaillé avec des bouteilles, des verres et à chaque fois... allez-y. (141)
- Est-ce qu'on l'a juste fait avec la bouteille en verre et la bouteille en plastique ? (166)
- Et c'est important cela de faire des choses, de faire varier les conditions et de voir si on peut trouver la même chose ? (170) »

Exemples de relances du praticien-chercheur pour inviter les étudiants à s'exprimer sur la navigation entre général et particulier :

- « — Je vais reprendre des choses dont on a parlé pour voir ce que vous en pensez. Je prends la manip des sabliers, je la fais juste avec du sable. Et on avait dit, vous vous souvenez, plus il y en a, plus cela prend du temps pour couler etc. Là j'ai dit, plus il y en a dedans, plus il y a quelque chose dans ma bouteille et plus cela prend de temps pour couler. J'ai juste vérifié avec du sable. Est-ce que cela vous semble pas mal ou... (264)
- Est-ce que vous voyez la différence entre dire "plus je mets de quelque chose et plus cela prend de temps" et "plus je mets de sable et plus cela prend de temps" ? (294) »

On est alors dans une expression que nous qualifierons de "circonstancielle". Rien dans les échanges ne laisse supposer qu'au-delà d'une simple utilisation quand il en est besoin, les étudiants associent clairement ces éléments à la méthodologie scientifique.

Une expression d'éléments de scientificité comparable à la D.I. simple

D'une façon générale, les dialogues entre étudiants et les difficultés que ceux-ci éprouvent à exprimer d'autres critères que ceux travaillés systématiquement pendant les D.I. sont symptomatiques d'une appropriation encore balbutiante d'éléments de scientificité comme la reproductibilité, la robustesse d'une expérience ou la navigation entre général et particulier.

L'ajout de discussions métacognitives à la D.I. simple ne semble donc pas permettre une évolution massive de l'expression de CS ou d'éléments de scientificité chez les étudiants sondés, ni a fortiori de leur appropriation.

6.4.2. ENRICHISSEMENT METHODOLOGIQUE

La stimulation d'une réflexion sur la scientificité d'une D.I. par ses participants eux-mêmes s'étant révélée peu efficace pour en faire émerger les éléments de scientificité pertinents, on considère maintenant l'impact de son enrichissement par un discours *explicite* du meneur de jeu sur la méthodologie scientifique.

Dans un souci de simplicité, on ne considère dans cette section qu'un discours limité à l'explicitation des éléments méthodologiques mis en œuvre pendant les D.I. Ces apports méthodologiques ont lieu :

- Pendant les investigations, à chaque fois que le praticien-chercheur l'estime opportun ;
- Lors d'un bilan méthodologique systématique à la fin de chaque session. Les éléments méthodologiques mobilisés par les participants au cours de la démarche d'investigation vécue sont alors exhibés et discutés.

Le contexte de l'étude et les données recueillies sont présentés dans un premier temps. Les critères de scientificité et éléments de scientificité exprimés par les participants lors des bilans permettent dans un second temps d'évaluer l'impact de l'enrichissement méthodologique sur leur appropriation de CS et d'éléments de scientificité.

4.2.1. Contexte de l'étude et ajouts méthodologiques

L'approche par *démarche d'investigation enrichie d'ajouts méthodologiques* a été testée sur un groupe de treize participants à une formation continue d'une durée de 21 h sur 4 jours (gr. 54). Les enseignants sont motivés et volontairement engagés dans un projet de classe ambitieux : la préparation d'un jardin des sciences où leurs élèves de cycle 2 animeraient tous un atelier en D.I. La plupart d'entre eux ne fait cependant que rarement des expériences en classe et vient au stage pour se former à la démarche d'investigation autant qu'à la mise en place d'un jardin des sciences.

Les données recueillies sont de deux types : questionnaire et enregistrements vidéo à partir desquels a été réalisée une transcription complète de la formation⁹³. En tout début de formation, les participants ont rempli un questionnaire⁹⁴ permettant de recueillir leurs critères de scientificité spontanés ; ils ont également répondu à un questionnaire intermédiaire⁹⁵ et à un troisième

93. L'ensemble des données est disponible en annexe 6.K.a.

94. Gr. 54. Questions posées en début de cours : « *Comment distinguez-vous quelque chose de scientifique de quelque chose qui ne l'est pas ?* », « *En classe qu'est-ce qui distingue les cours de sciences des autres cours ? Comment identifiez-vous les moments où vous faites des sciences avec les élèves ?* », « *Vos élèves vont faire un JDS, ils vont donc pratiquer avec vous et leurs camarades des activités scientifiques. Qu'aimeriez-vous qu'ils soient capables de répondre à la question ouverte "pour toi, c'est quoi la science ?"* » et « *Selon vous, cela a-t-il un sens de parler de "science" à propos d'activités scolaires menées avec les tout petits ? À partir de quel âge sinon, typiquement ?* ».

95. « *Qu'attendez-vous de vos élèves sur le JDS ? Que devront-ils mettre en place pour que l'animation soit la plus scientifique possible ?* ».

questionnaire en fin de formation⁹⁶. Une discussion collective sur la nature de la science, qui clôt la formation et fait office de bilan.

La transcription des vidéos représente 3451 prises de parole⁹⁷. Sur les 3034 prises de paroles hors bilan final :

- 63% sont le fait des participants.
- 64% ont lieu en démarche d'investigation (1936),
- 15% pendant des discussions périphériques (460),
- 8% pendant des discussions⁹⁸ sur la scientificité des ateliers sur le jardin des sciences (250),
- 7% sous la forme d'apports méthodologiques (212),
- 6% sous la forme d'apports sur la relativité du mouvement⁹⁹ (177).

Les apports méthodologiques consistent en 11 courts bilans en fin de D.I. (138 prises de parole) et en de multiples interventions sur quelques prises de paroles entrelacées dans les D.I. (74 prises de parole au total). Une grande partie des interventions du praticien-chercheur entrelacées dans les D.I. ne sont pas anticipées, et motivées par les circonstances. Le praticien-chercheur est en effet conduit à réagir sur le vif aux formulations et aux solutions choisies par les participants pendant les D.I. D'une manière générale, les échanges avec les participants sont courts, inférieurs à la minute.

Certains apports méthodologiques sont réalisés par le praticien-chercheur sous forme magistrale. C'est en particulier le cas au début de formation, où les éléments méthodologiques sont introduits progressivement en fonction de leur mise en œuvre pendant les D.I.

Exemple d'apport magistral

- « *Comment on fait pour savoir ? On essaie.* » Oui, effectivement, j'ai insisté sur cet élément ce matin. On peut dire ce qu'on veut, mais on va donner la priorité à l'expérience. Et si on a une opposition, ce qui va permettre de trancher, de fixer les choses, c'est l'expérience. J'ai aussi insisté sur le fait que, avant de donner des résultats, on s'assure qu'on a tous trouvé la même chose, vu la même chose. En science on donne la priorité à l'expérience, et on s'assure que tout le monde a vu la même chose, trouve la même chose. (Pr-Ch, 379 & 385)

Mais, très rapidement, le praticien-chercheur sollicite les participants pour qu'ils identifient eux-mêmes les éléments méthodologiques mobilisés par la démarche d'investigation. Ce n'est que dans un second temps qu'il complète leurs réponses en reformulant les éléments identifiés et en précisant les éléments non

96. « *Ce qu'on a fait ensemble vous aide-t-il à distinguer ce qui relève de la science et ce qui n'en relève pas ? Comment ?* » et « *Plus précisément, quels critères précis emploieriez-vous pour qualifier ce travail de scientifique ou pas ?* ».

97. La transcription fait état de 3114 prises de paroles, les 337 prises de parole manquantes ayant été regroupées par commodité dans 6 prises de parole globalisant les échanges de 6 groupes (1329-1331 et 1794-1796).

98. Menée en début de troisième journée sur la manière de rendre les ateliers sur le jardin des sciences aussi scientifiques que possible, cette discussion avait pour objectif de conduire les enseignants à réfléchir en termes méthodologiques.

99. La discussion sur la relativité du mouvement a permis de travailler avec les enseignants sur le statut de l'argument d'autorité en science (prises de parole 1554-1731).

identifiés par les participants. Il y a alors un entrelacement entre des éléments formulés par les participants et d'autres apportés par le praticien-chercheur.

Exemple d'entrelacement

- (Pr-Ch) En termes de méthodologie, qu'est-ce qu'on travaille avec les enfants ?
 - (E10) "On essaie".
 - (Pr-Ch) On essaie, primauté de l'expérience. On a navigué aussi entre l'histoire et le monde physique. A-t-on vérifié dans ce qu'on a fait que si on changeait des choses non essentielles, ça ne changeait pas le résultat ?
 - (E11) Oui, on a changé les poids.
 - (Pr-Ch) Oui il y avait à chaque fois le même ordre des poids mais vous n'aviez pas les mêmes poids. Quoi d'autre ?
 - (E7) Nos poulies sont différentes.
 - (Pr-Ch) Oui, on a travaillé la robustesse. Avec des poulies différentes, on a observé la même chose. Est-ce que c'est reproductible ? A-t-on vérifié que tout le monde voyait la même chose et qu'on peut le refaire ?
 - (E3) Oui.
 - (Pr-Ch) Oui, on l'a fait deux fois, mais on pourrait le faire trois ou quatre fois.
- (743-751)

Lors de l'échange, un participant identifie la primauté de l'expérience, qui est nommée par le praticien-chercheur. Celui-ci oriente ensuite les questions pour inviter les participants à repérer le test de la robustesse et celui de la reproductibilité de l'expérience. Pendant les échanges, les réponses peuvent partir dans toutes les directions et c'est le praticien-chercheur qui formalise les éléments méthodologiques.

Avant la mise en œuvre de la formation continue considérée, le praticien-chercheur a choisi d'y introduire un nombre limité d'éléments méthodologiques. Les éléments choisis sont la primauté de l'expérience, la reproductibilité, la robustesse, le recul et l'exploitation du spectre de généralité. Il reste cependant prêt à saisir toutes les opportunités d'introduire d'autres éléments méthodologiques lorsqu'ils apparaissent en cours de D.I.

Le diagramme 4.2.1.a. présente les éléments méthodologiques effectivement introduits pendant la formation ainsi que leurs poids respectifs.

Le *recours à l'expérience* et sa *primauté* (resp. 20 et 23 introductions par le praticien-chercheur sur 84 au total) ainsi que la *reproductibilité* ont été introduits avec insistance pendant la formation (51% des éléments introduits). Dans une moindre mesure, le praticien a insisté sur le test de la robustesse d'une expérience ou d'une loi (resp. 5 et 10 introductions soit 18%).

Le *recul* (8% en fusionnant le travail sur la navigation entre monde physique et représentations et celui sur le caractère simplifié des représentations) et l'*exploitation du spectre de généralité* (5%) ont été finalement introduits relativement peu souvent par le praticien-chercheur. Le choix des D.I. mise en place et les circonstances de la formation n'ont pas incité le formateur à travailler longuement sur ces éléments.

On constate en revanche, comme cela était prévisible, que plusieurs éléments méthodologiques ont été introduits "dans l'action" en plus des éléments prévus. C'est en particulier le cas de la cohérence lexicale et du travail sur l'existence d'un domaine de validité d'une loi (en lien avec la relativité).

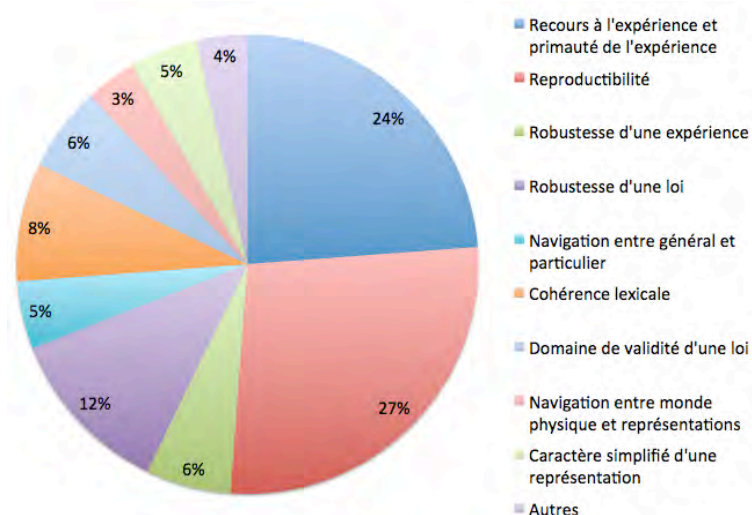


Diagramme 4.2.1.a. : Proportion des différents éléments méthodologiques introduits par le praticien-chercheur (84 introductions au total)

La plupart des éléments méthodologiques sont introduits dans l'action pendant les D.I. puis renforcés pendant les bilans (tableau 4.2.1.b.).

Éléments méthodologiques évoqués	pendant D.I.	Bilans
Recours à l'expérience "Comment fait-on pour savoir ? on essaie"	13	2
Primauté de l'expérience	1	4
Reproductibilité	15	8
Test de la robustesse d'une expérience	3	2
Test de la robustesse d'une loi pour la fiabilité de la formulation	5	5
Navigation entre particulier et général		4
Test du domaine de validité d'une loi (e.g. prise de parole 585)	3	2
Cohérence lexicale (e.g. prise de parole 971)	5	2
Caractère simplifié des représentations utilisées par rapport au monde physique (e.g. prise de parole 1320)	1	2
Navigation entre le monde physique et des représentations (e.g. prise de parole 631)	1	3
Notion de bonne pratique		1
Refus de l'argument d'autorité	1	
Opportunité	1	
TOTAL	49	35

Tableau 4.2.1.b. : Liste des éléments méthodologiques introduits pendant et en fin de D.I.

Une discussion plus longue (250 prises de parole) a également été menée en début de troisième journée. Elle avait pour objectif de conduire les enseignants à réfléchir en termes méthodologiques en les sollicitant sur la façon dont ils envisageaient les ateliers de leur classe pour qu'ils soient aussi scientifiques que possible.

4.2.2. Expression d'éléments méthodologiques et de CS

4.2.2.1. Expression spontanée en cours de D.I.

On s'intéresse dans un premier temps aux CS et éléments méthodologiques exprimés spontanément par les participants au cours des D.I. On exclut donc

les occurrences où le praticien-chercheur suscite leur expression par ses questions.

Nombre total des prises de parole en D.I.	2 000
Nombre total des CS exprimés	0
Nombre total des éléments méthodologiques spontanés exprimés pendant les D.I. par les participants	12
<i>Test de la robustesse de l'expérience</i>	6
<i>Cohérence lexicale</i>	3
<i>Caractère simplifié d'une représentation</i>	1
<i>Recours à l'expérience</i>	2

Tableau 4.2.2.1. : Éléments méthodologiques spontanés exprimés pendant la DI

On ne trouve aucune expression de CS stricto sensu sur plus de 2000 prises de parole en D.I. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus lors des formations proposant des démarches d'investigation simples ou avec des apports métacognitifs.

On identifie seulement 12 expressions spontanées d'éléments méthodologiques, soit 0,6% des prises de parole. Ces résultats sont également similaires à ceux obtenus lors des formations précédentes.

Parmi les rares éléments cités par les participants, on trouve le test de la robustesse des expériences qui a été introduit très tôt dans la formation (prise de parole 161). Il est possible que cela ait eu un impact sur son expression, mais celui-ci apparaît minime. Il est intéressant de constater que la reproductibilité n'est jamais mobilisée spontanément alors que le praticien-chercheur a pourtant régulièrement incité les participants à s'intéresser à cet élément (23 occurrences).

Il semble donc que les apports méthodologiques ne favorisent pas plus que les apports métacognitifs l'expression de CS ou d'éléments méthodologiques pendant les D.I.

4.2.2.2. Expression au cours des échanges méthodologiques

On s'intéresse maintenant aux éléments méthodologiques que les participants expriment lorsque le praticien-chercheur leur demande d'identifier ceux qu'ils estiment avoir mobilisés pendant la D.I. qu'ils ont vécue. Cela se produit pendant 9 bilans méthodologiques et lors de la discussion du troisième jour (1329-1422¹⁰⁰).

Le tableau 4.2.2.2. synthétise les éléments méthodologiques exprimés alors par les participants pour chacun de ces différents moments.

100. 250 prises de parole en tout, 3 prises de paroles regroupant les échanges au sein de chacun de 3 petits groupes de discussion (la prise de parole 1329 correspond à 64 échanges ; la prise de parole 1330 à 42 échanges et la prise de parole 1331 à 34 échanges).

Bilan	D.I.	Éléments méthodologiques identifiés
Bilan 1 (J1, 277)	Changements d'état de l'eau, Album <i>Roman de Renart</i>	Présence de questionnement, Présence d'expérience
Bilan 2 (J1, 372)	Changements d'état de l'eau	Présence de questionnement, Recours à l'expérience, Présence de mesures
Bilan 3 (J1, 537)	Leviers	Robustesse d'une loi
Bilan 4 (J1, 601)	Leviers	Elaboration d'une loi, robustesse d'une loi, Navigation entre général et particulier
Bilan 5 (J1, 623)	Album <i>Bascule</i>	Présence d'expérience
Bilan 6 (J1, 743)	Album <i>Plouf!</i>	Recours à l'expérience
Bilan 7 (J2, 1050)	Sabliers	Recours à l'expérience, Identification des paramètres pertinents et variation d'un seul paramètre à la fois, Reproductibilité, Opportunité
Bilan 8 (J2, 1302)	Dissolution, horizontalité d'un liquide	Recours à l'expérience, cohérence lexicale et symbolique
Discussion (J3, 1323)	Comment rendre l'atelier des élèves aussi scientifique que possible	Gp. 1 : Opportunité, Recours à l'expérience, Utilisation d'un vocabulaire adéquat, Refus de l'argument d'autorité (« <i>Ne pas dire les réponses</i> »), Construction d'une généralité à partir de plusieurs cas particuliers Gp. 2 : Opportunité, Recours à l'expérience, " Refus de l'argument d'autorité (« <i>Ne pas dire les réponses</i> ») Gp. 3 : Opportunité, Recours à l'expérience, Utilisation d'un vocabulaire adéquat, Refus de l'argument d'autorité (« <i>Ne pas dire les réponses</i> »), Reproductibilité
		Discussion générale : tous les éléments méthodologiques énoncés dans les groupes. Opportunité posée comme CS (1418-1425)
Bilan 9 (J3, 2178)	Air	Présence de questionnement, Emission d'hypothèses, Présence de représentations, Robustesse, Cohérence lexicale

Tableau 4.2.2.2. : Éléments méthodologiques spontanément exprimés pendant la DI

Recours à l'expérience et questionnement

La moitié des éléments méthodologiques évoqués portent sur le recours à l'expérience (7/31) ou la présence d'un questionnement (8/31). On retrouve ici sans surprise des éléments exprimés spontanément dans le cadre des D.I. simples et dans le cadre des retours métacognitifs.

Exemple de prise de parole mettant l'accent sur le questionnement et le recours à l'expérience :

- (A12) Le plus important, moi ce que je retiens, que je n'arrête pas d'avoir en tête, il va falloir me dire demain si c'est une bonne représentation de la démarche scientifique, mais moi j'ai en tête qu'ils se posent une question, et cette question on ne pourra y répondre de manière sûre que si on a expérimenté et qu'on a vu que la réponse était la bonne. C'est ça le plus important.
- (Pr-Ch) Vous rejoignez ça ?
- (A14, avec acquiescement de tous) Oui. (1414-1416)

Reproductibilité

La reproductibilité est constamment mobilisée pendant les démarches d'investigation et l'attention des participants est régulièrement portée sur cet élément par le praticien-chercheur. Néanmoins, il faut attendre que les participants rencontrent une situation où la reproductibilité des expériences

devient problématique faute d'avoir identifié tous les paramètres pertinents (travail sur les sabliers) pour qu'ils expriment la reproductibilité comme élément méthodologique.

On retrouve cette difficulté à percevoir l'intérêt de la reproductibilité lors de la discussion sur la méthode à suivre pour faire des ateliers "aussi scientifique que possible". Lorsqu'un groupe émet l'idée de faire reproduire les expériences par les élèves, elle est balayée par un autre participant :

- On se disait de laisser faire, de proposer de refaire, de vérifier plusieurs fois.
- Ça je ne sais pas si on aura le temps... (1346-1347)

L'importance de la reproductibilité semble donc difficile à percevoir par les participants.

Autres éléments méthodologiques

La plupart des autres éléments méthodologiques identifiés par les participants ne sont exprimés qu'une ou deux fois, le plus souvent juste après que l'accent avait été mis sur eux par le praticien-chercheur. C'est le cas de la robustesse qui est citée après un travail sur les leviers pendant lequel le praticien-chercheur a proposé le test de plusieurs matériaux avant d'accepter la formulation d'une loi. Autres éléments méthodologiques cités :

- Présence de mesures
- Elaboration d'une loi
- Robustesse d'une expérience / d'une loi
- Navigation entre général et particulier
- Identification des paramètres pertinents
- Variation d'un seul paramètre à la fois
- Cohérence lexicale et symbolique

4.2.3. Appropriation d'éléments méthodologiques et de CS en fin de formation

Un bilan est réalisé en fin de formation afin d'évaluer l'appropriation d'éléments méthodologiques par les participants. Il comporte trois étapes : réponse individuelle à un questionnaire (cf. annexe 6.K.b.), discussion de ces réponses en petits groupes puis présentation des éléments dégagés et discussion collective. Les réponses individuelles permettent d'évaluer l'évolution de chaque participant et les discussions de faire ressortir les éléments partagés par les participants et d'explicitier leurs idées.

4.2.3.1. Questionnaire

Tous les participants entrent en fin de formation dans la catégorie U1¹⁰¹ (recours à l'expérience pour tester une hypothèse) et 12 sur 13 associent les sciences au fait de chercher à répondre à une question. On retrouve sur ces

101. Catégories définies au § 6.1.2.3.

éléments méthodologiques des résultats comparables à ceux obtenus en démarche d'investigation simple et avec apports métacognitifs.

À la différence des formations précédentes, la plupart des enseignants en formation continue sondés répondent aux questions en intégrant différents éléments méthodologiques dans leur réponse et en les articulant au sein d'une démarche.

Les formulations sont précises et affirmées. À la question « *Plus précisément, quels critères précis emploieriez-vous pour qualifier le travail de scientifique ou pas ?* », 9 participants sur 13 (70%) expriment des critères de scientificité, même si leur formulation peut être améliorée.

Exemple de formulation associant différents critères de scientificité

Valérie : Scientifique : je crois, je vérifie par l'expérience, nous sommes plusieurs à le vérifier, ce que j'ai observé reste vérifiable en changeant les paramètres, je le fais plusieurs fois, j'admets que je me suis trompé.

Pas scientifique : je crois, je suis seul à le vérifier, je me contente d'un paramètre, je le fais une fois, je reste sur ma position.

9 participants sur 13 (70%) citent la reproductibilité et 5 (39%) la robustesse comme éléments caractéristiques de la démarche scientifique. Ces proportions sont nettement supérieures à celles obtenues dans les formations en démarche d'investigation simple (reproductibilité citée par 0,5% et robustesse par 1% des participants, cf. 6.3.3.6.).

Une stratégie d'introduction d'apports méthodologiques apparaît donc comme un moyen efficace pour permettre l'expression des critères de reproductibilité et de robustesse par les participants.

De façon plus subjective, les réponses écrites à la fin de la formation semblent mieux structurées et plus pertinentes que celles obtenues dans les formations en démarches d'investigation simples (cf. annexe 6.K.b.).

Par exemple :

Ce qu'on a fait ensemble vous aide-t-il à distinguer ce qui relève de la science et ce qui n'en relève pas ? Comment ?

— (Clarisse) Oui. En faisant des expériences, en réfléchissant sur ce que l'on fait et comment, ce que l'on peut en déduire. En vérifiant que chaque groupe a trouvé la même réponse et en le testant dans des conditions différentes. On a ainsi obtenu une loi et c'est nous qui l'avons construite. Ce n'est pas un savoir qui nous est donné, c'est quelque chose que l'on peut montrer et tester pour le généraliser.

— (Laure) Au départ je trouvais que le fait d'être curieux, d'observer et de se poser des questions était de la science. Or ceci, les enfants le font pour tout. C'est scientifique si on essaie mais surtout si on essaie plusieurs fois, dans plusieurs conditions, en changeant de critères (paramètres). On ne se contente pas d'une seule observation, on remet en cause les premières constatations, on peut reproduire notre constat.

En ce qui concerne l'analyse globale des questionnaires, on constate que deux éléments méthodologiques n'ont pas été explicitement introduits par le praticien-chercheur :

- le fait qu'il puisse ne pas y avoir de réponse à une question posée en fin de D.I. (cité 3 fois)

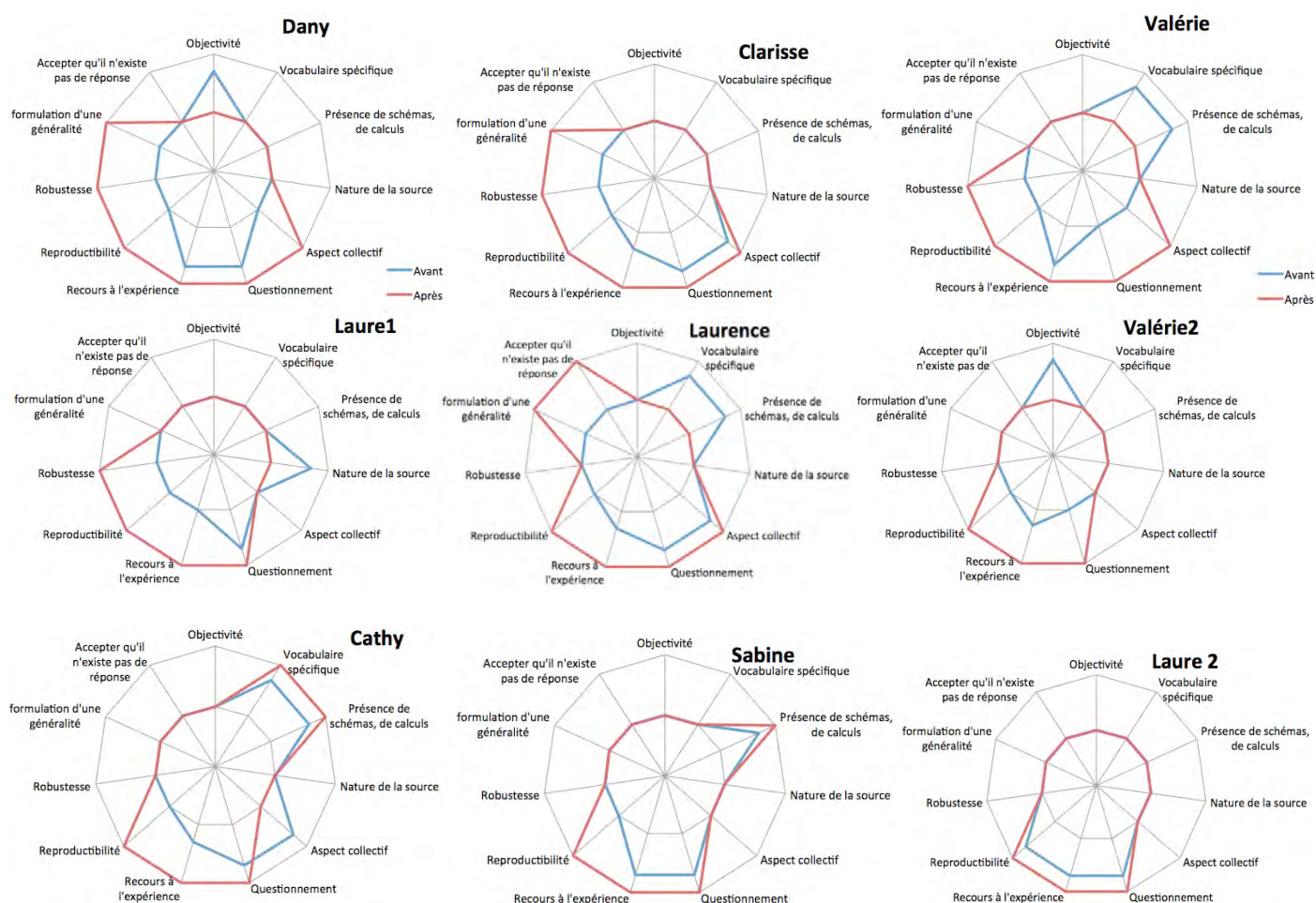
— le fait que faire des sciences implique un travail collectif avec confrontation des résultats (cité 5 fois).

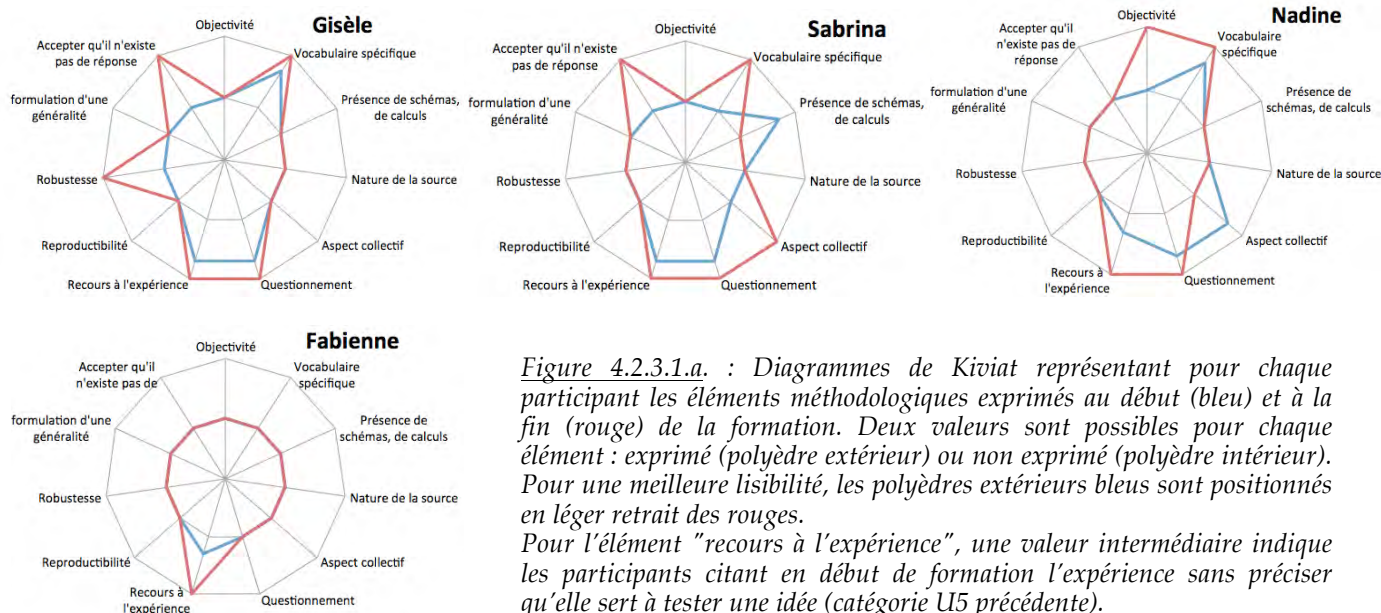
Dans les deux cas, on peut considérer que les participants les infèrent à partir des situations vécues en formation.

Comparaison des éléments méthodologiques pré et post-formation pour chaque participant

La présence de vocabulaire spécifique (resp. de schémas) est citée par 5 participants en début de formation et 4 (resp. 2) en fin de formation. Trois d'entre eux (resp. 2) conservent cet élément méthodologique en fin de formation. Néanmoins, les échanges entre participants (cf. prises de parole 2754-2774) révèlent que le sens qu'ils attribuent au vocabulaire spécifique a évolué : ils privilégient la précision et la clarté du vocabulaire à sa technicité.

L'analyse des questionnaires individuels montre une nette évolution de la plupart des participants sur plusieurs éléments méthodologiques spécifiquement travaillés lors des apports méthodologiques. Pour visualiser cette évolution, on trace des diagrammes de Kiviat à 11 éléments. Pour chacun, deux valeurs sont possibles : il est ou pas exprimé. 4.2.3.1.a.).

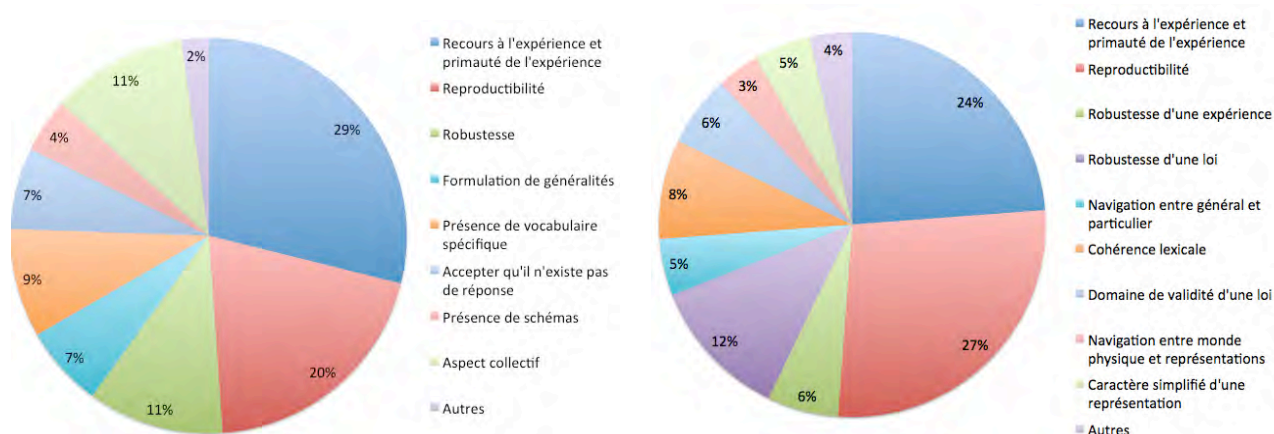




11 participants sur 13 évoluent dans leur expression d'éléments méthodologiques. Plus de la moitié des participants (8 sur 13) citent plus de 2 nouveaux éléments méthodologiques : 4 participants en citent 4, 1 participant en cite 3 et 3 en citent 2. Seuls deux participants (Laure2 et Fabienne) n'évoluent pas dans leur expression d'éléments méthodologiques.

La D.I. avec apports méthodologiques semble donc efficace pour l'appropriation d'éléments méthodologiques et de critères de scientificité par les participants.

Cette appropriation reste toutefois pour l'essentiel limitée aux éléments sur lesquels le praticien-chercheur a mis le plus l'accent en formation (cf. Figures 4.2.3.1.b.).



Figures 4.2.3.1.b. : Proportion des différents éléments méthodologiques exprimés par les participants (à gauche, 49 introductions au total, l'élément "présence d'un questionnement" n'a pas été pris en compte) et introduits par le praticien-chercheur (à droite, au total 84 occurrences réparties sur 10 éléments méthodologiques)

4.2.3.2. Échanges entre participants et discussion collective

Au cours des échanges au sein des trois petits groupes lors de la discussion du troisième jour portant sur la scientificité des ateliers qu'ils prévoient de mettre en place sur le Jardin des sciences, les participants reprennent les mêmes critères de scientificité que lors des questionnaires écrits :

- primauté de l'expérience (3 gp.)
- reproductibilité (2 gp.)
- robustesse (1 gp.)
- opportunité (2 gp.)
- attitude scientifique (1 gp.)
- clarté et précision du vocabulaire (1 gp.)

Lors de la discussion collective, les enseignants se montrent intéressés et participent volontiers aux échanges, le rôle du praticien-chercheur se réduisant alors à modérer et à poser des questions d'explicitation.

La formation vécue comme référence de pratique scientifique

Alors qu'il leur était demandé si ce qu'ils avaient vécu les aidait à distinguer ce qui relève de la science de ce qui n'en relève pas, les participants font un pas supplémentaire et choisissent en fin de formation de s'appuyer sur des situations vécues au cours de celle-ci pour poser les modalités d'une démarche scientifique. Ils considèrent alors implicitement que ce qu'ils ont fait en formation était de la science. Le niveau du contenu scientifique de la formation étant élémentaire, cette réaction implique qu'ils considèrent que l'on peut faire de la science indépendamment de la sophistication du contenu. C'est un résultat déjà obtenu en D.I. simple¹⁰².

Exemples de prises de parole en rapport avec la non scolasticité :

- Ne pas s'arrêter en fait avec les idées reçues. Par exemple la Terre tourne autour du Soleil, ne pas s'arrêter à ce qu'on croit savoir et qui est dit vérité. Et on disait même que cette démarche était bien pour former les futurs citoyens, des gens qui ne boivent pas le savoir.
- À un moment qu'ils se questionnent.
- Ne pas croire toujours ce que dit le maître. C'est déjà dans une approche scientifique. (2744-2747)

Exemples de prises de parole en rapport avec la cohérence lexicale :

- Un vocabulaire précis parce que quand on utilisait un mot tu disais est-ce que vous savez ce que ça veut vraiment dire, donc précis. On est revenu avec des choses plus simples.
- Parce qu'on a essayé de sortir des mots qui nous restaient de nos études antérieures dont on a perdu le sens ou qu'on n'a jamais eu ! Ahah... (2757-2758)

Exemples de prises de parole en rapport avec l'opportunité :

- Là je dis les mêmes choses qu'au début du stage.
- Sauf que tu le disais mais tu n'en étais pas convaincue.
- Voilà. Maintenant je me rends compte qu'il faut une vraie phase de réflexion avant de pratiquer. Ça m'a vraiment changé. (2732-2734)

102. Les PE1 des groupes 20-26 en démarche d'investigation simple auxquels la question avait été posée (cf. 6.1.2.1.) considèrent également qu'ils ont fait des sciences pendant les cours en D.I. (97%, 69 étudiants sur 71).

Des interventions scolaires dont la scientificité est remise en question

La mise en évidence de certains éléments de scientificité s'opère également explicitement par contraste entre le déroulement de la formation et leurs représentations antérieures ou leur vécu d'autres modalités d'interventions "scientifiques" dans leur classe.

Exemple de référence au vécu de classe :

- En fait tu peux très bien parler de la science sans forcément avoir une démarche scientifique. C'est important qu'ils acquièrent une attitude scientifique. Tu vois la dentiste quand elle est venue dans la classe c'était la leçon de choses, ils n'ont pas découvert par eux même. Elle leur a répondu c'est tout. (2727-2729)

La formation induit ainsi certains participants à réévaluer la scientificité des interventions de personnes considérées comme "scientifiques" en comparant la démarche mise en œuvre dans leur classe par ces intervenants à celles vécues en formation.

Des éléments méthodologiques pour distinguer science et non science

Interrogés sur la scientificité de la pratique de l'astrologue, les participants n'utilisent pas l'argument d'autorité pour la mettre en cause et se mettent à la recherche d'éléments permettant d'invalidier sa pratique. Les participants mobilisent alors l'exploitation du spectre de généralité — sous la forme de l'existence de lois sur lesquelles tout le monde s'accorde en science en opposition avec l'existence de lois "idiosyncratiques" chez les astrologues (2790-2814) — et la reproductibilité comme critères de scientificité.

Des critères de scientificité bien reçus par les enfants et par les enseignants

La notion de critère de scientificité et les critères eux-mêmes sont introduits en s'appuyant sur des situations vécues pendant la formation. La notion semble bien reçue par les participants qui participent activement à la discussion. Au cours de la discussion, l'un d'entre eux introduit spontanément le critère de transmission.

Exemple d'introduction spontanée du critère de transmission :

- Est-ce que la nécessité de divulguer, de communiquer ses connaissances c'est nécessaire à la science ? Parce que là je prends ton exemple de l'eau bout à 100°C, si ça reste, si ça intéresse 20 personnes on ne va pas pouvoir euh tu vois ? Il faut aussi informer pour accepter d'être conforté ou contredit. (3026)

La discussion épistémologique est alors considérée par certains comme un moment de synthèse du travail réalisé et comme un moyen de mieux l'assimiler.

Exemple de perception de la discussion épistémologique par les stagiaires :

- Ca synthétise en fait tous ce qu'on a...
- Ca fait appel à des choses qu'on a faites et ça permet de mieux les assimiler. On assimile la notion. (3046-3047)

Les enseignants semblent par ailleurs accepter sans difficulté l'idée d'une définition de la science évolutive en fonction des critères choisis, les enfants ayant l'habitude que les choses évoluent en grandissant.

- Exemple d'acceptation de l'idée que le nombre de CS évolue avec l'âge des élèves
- (Pr.-Ch.) Donc ce qui était de la science avant ça n'en est plus puisque j'ai rajouté un critère.
- C'est normal en grandissant.
- Même nous entre cycle 2 et cycle 3 c'est pas du tout la même chose pour eux. (3088-3090)

Sur proposition du praticien-chercheur, les enseignants s'accordent également sur le fait que primauté de l'expérience, reproductibilité sont les critères les plus accessibles pour leurs élèves et proposent la robustesse comme troisième critère facile à mettre en place dans leurs classes (3095-3098).

- Exemple d'ajout du CS de robustesse par les participants
- (Pr.-Ch.) Si à chaque fois qu'ils disent quelque chose tu répondes "Comment on fait pour savoir ?", et que la réponse est "On essaye" et que, si ce n'est pas pareil que ce que l'on disait, on choisit ce que l'on a fait, tu es dans la primauté de l'expérience. Et je pense que c'est sans doute la première chose qu'on peut installer chez les élèves. La reproductibilité, effectivement, je pense que c'est aussi quelque chose que vous pouvez mettre facilement en place dans vos classes...
- Oui (tous).
- (Pr.-Ch.) Après, dans les choses que vous pouvez mettre facilement en place...
- Je pense la robustesse. (3095-3097)

6.4.3. SYNTHESE

4.3.1. Une expression spontanée rare

L'absence d'expression de critères de scientificité spontanés ainsi que le faible nombre d'éléments méthodologiques émis pendant les démarches d'investigation semble être une caractéristique commune non seulement aux démarches d'investigation simples mais aussi à celles bénéficiant d'apports métacognitifs ou méthodologiques.

D.I. simple	D.I. + apports métacognitifs	D.I. + apports méthodologiques
0,7%	0,6%	0,6%

Tableau 4.3.1 : Comparaison des taux d'éléments méthodologiques exprimés pendant les D.I.

L'apport de compléments à la D.I. ne semble donc pas favoriser l'expression spontanée de CS ou d'éléments méthodologiques et cela même lorsque des participants sont sensibilisés par ailleurs à des éléments méthodologiques.

Les rares études menées avec des enseignants ou futurs enseignants du primaire s'intéressent avant tout à l'appropriation finale de caractéristiques de la nature de la science et ne documentent pas l'occurrence des éléments de scientificité exprimés par des participants pendant des démarches d'investigation. Il n'a pas été possible en conséquence de comparer ces résultats à des études externes à ce travail.

Il semble que la méthodologie scientifique ne soit pas spontanément considérée comme un élément de discussion prioritaire pour les participants à une investigation. Cela pourrait s'expliquer par la difficulté des participants à réfléchir à la méthodologie qu'ils mettent en œuvre en même temps qu'ils s'approprient le contenu des démarches proposées. Même si ce contenu reste à un niveau élémentaire, il pose souvent des difficultés conceptuelles aux

participants et il est alors possible que face à l'afflux d'éléments nouveaux à intégrer, les participants se focalisent sur le contenu scientifique ou pédagogique aux dépens de l'aspect méthodologique. Dans le cadre habituel des formations, ils peuvent en effet s'attendre à ce que les erreurs méthodologiques soient prises en charge, d'une façon ou d'une autre, par le formateur.

4.3.2. Des apports méthodologiques efficaces

Les moments d'échange métacognitif, qui n'impliquent pas l'expression explicite d'éléments méthodologiques par le praticien-chercheur, ne modifient en revanche pas de façon significative l'appropriation d'éléments méthodologiques.

Ces résultats ne sont pas vraiment surprenants. Valarie L. Akerson et al.¹⁰³ et Randy L. Bell et al.,¹⁰⁴ dans leurs études sur l'appropriation par les enseignants du primaire de caractéristiques de la nature de la science, avaient déjà démontré l'efficacité d'approches explicites. Leurs études portaient cependant sur des caractéristiques de portée bien plus générale (cf. § 2.3.2.3.1.) que celles de notre étude. Il semble donc que l'appropriation par les participants d'éléments méthodologiques et de critères de scientificité est favorisée par des stratégies comparables à celles utilisées pour développer l'appropriation de caractéristiques de la science plus générales.

L'apport d'éléments méthodologiques apparaît comme un moyen efficace pour susciter l'expression de critères de scientificité, de nombreux participants citant des éléments méthodologiques travaillés en cours lorsqu'on leur demande de distinguer ce qui relève de la science et ce qui n'en relève pas en fin de formation. On constate alors que l'appropriation d'éléments méthodologiques par les stagiaires concerne essentiellement les éléments introduits explicitement pendant la formation.

	D.I. simple (183 participants)	D.I. + apports métacognitifs (8)	D.I. + apports méthodologiques (13)
Opportunité	70%	+++	92%
Recours à l'expérience pour vérifier une hypothèse	60%	+++	100%
Aspect provisoire/ Possibilité qu'on puisse ne pas aboutir à une réponse	5,4%		23%
Communication /Transmission	2,7%		39%
Non scolasticité	2,7%	++	
Reproductibilité	0,5%	sur sollicitation	70%
Construction de généralités	0,1%	sur sollicitation	23%
Robustesse	0,1%	sur sollicitation	39%

Tableau 4.3.2. : Récapitulatif des proportions d'éléments méthodologiques exprimés en fin de formation suivant les différentes approches testées (pas de pourcentages disponibles pour l'approche D.I. + apports métacognitifs)

103. Valarie L. Akerson, Fouad Abd-El-Khalick, Norman G. Lederman. Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science », *Journal Of Research In Science Teaching*, 2000, vol. 37(4), pp. 295-317

104. Randy L. Bell, Juanita Jo Matkins, Bruce M. Gansneder. Impacts of Contextual and Explicit Instruction on Preservice Elementary Teachers' Understandings of the Nature of Science, *Journal of Research in Science Teaching*, 2011, vol. 48 (4), pp. 414-436.

6.5. Appropriation de critères de scientificité explicites

Une démarche d'investigation simple s'avère donc insuffisante pour l'établissement et l'appropriation d'une vision opératoire de la nature de la science scolaire, mais ceux-ci semblent s'opérer de façon d'autant plus efficace que des éléments méthodologiques sont introduits de façon plus explicite dans la formation (§ 6.4).

Une alternative à un simple "enrichissement méthodologique" au sens du 6.4.2 est une introduction explicite de la notion de critère de scientificité, en tant que condition nécessaire et la présentation directe sous cette forme plus sophistiquée des éléments méthodologiques utiles. D'un point de vue pratique, un tel "enrichissement épistémologique n'est *a priori* pas beaucoup plus lourd.

On s'intéresse donc dans cette section à l'appropriation de critères de scientificité explicites par les participants à une formation par la démarche d'investigation.

Après avoir présenté les modalités de mise en œuvre de cette approche (§ 6.5.1.), on s'intéressera à la réception de chaque critère par les participants : sont-ils tous reçus de la même façon ou certains sont-ils privilégiés ? (§ 6.5.2.). Enfin, on trouvera dans la section 6.5.3. des éléments d'évaluation de l'appropriation par des participants de critères de scientificité explicitement présentés en formation et des perspectives de travail.

6.5.1. MODALITES DE MISE EN ŒUVRE

L'étude s'appuie sur 14 formations regroupant 362 participants (tableau 6.5.1.).

Deux modalités ont été utilisées pour introduire les critères de scientificité : introduction progressive ou introduction frontale "en bloc".

Introduction progressive

La première modalité repose sur une introduction progressive des critères au fur et à mesure de la formation. Chaque démarche d'investigation vécue ou présentée fournit l'occasion de mettre l'accent sur un ou plusieurs critères. Afin de justifier leur introduction, le praticien-chercheur débute par un questionnement (oral ou écrit, cf. 6.2.) sur la nature de la science. Celui-ci met généralement en évidence les difficultés des participants à cerner ce qu'est la science. Les critères sont alors proposés comme un outil expérimental, qu'il leur est demandé d'évaluer en fin de formation.

Cette modalité a été choisie pour les formations courtes, le plus souvent avec un public "captif" d'enseignants participant aux animations pédagogiques obligatoires de leur circonscription ou d'étudiants dont la présence en cours est obligatoire.¹⁰⁵

105. Dans ce cadre, une présentation magistrale "en bloc" pourrait en effet être perçue comme trop "théorique" et éloignée des attentes des participants, au contraire d'une intégration par touche des critères, dans des situations pratiques "parlantes" pour les participants.

L'investissement en temps de formation est typiquement d'une trentaine de minutes sur une formation de trois heures (16% du temps de formation).¹⁰⁶ Des participants se révèlent parfois demandeurs de précisions supplémentaires et l'investissement en temps de formation peut alors doubler.

Introduction "en bloc"

La deuxième modalité consiste à introduire en une seule fois, après avoir mis en évidence la difficulté des participants à définir ce qui distingue ce qui relève de la science de ce qui n'en relève pas, la notion de critère de scientificité. Les critères sont alors tous présentés soit en exposition magistrale dès le début de la formation, soit, après que les stagiaires ont vécu une première démarche d'investigation, en analysant celle-ci pas à pas. Les CS présentés sont ensuite mobilisés pendant les démarches d'investigation suivantes¹⁰⁷. Le praticien-chercheur sollicite alors régulièrement leur identification par les participants et précise au besoin les éléments qu'ils ont oubliés.

Cette seconde modalité a été choisie dans des formations plus longues,¹⁰⁸ pour lesquelles le praticien-chercheur est maître du contenu et des modalités de la formation et avec un public inscrit volontairement à la formation. L'investissement en temps de formation a été d'environ 1 h pour une formation de 6 h (16%) : exposition magistrale des CS (15 mn) et retour sur les critères au fur et à mesure des démarches vécues (45 mn). Dans le cadre des formations longues (24 h ou plus), 20% du temps de formation a été consacré au travail sur les critères : 1h30 pour faire vivre une démarche d'investigation et l'analyser en termes de CS, 1h pour revenir sur les définitions des critères et les expliciter et 2h30 pour des retours sur les critères au fur et à mesure des démarches vécues.

Gps (nb. de participants) ¹⁰⁹	Modalités de la formation	Type de public	Nature de la formation
64 (32) & 66 (66), 59, 60, 61, 62, 67 (83)	Introduction progressive des CS au fil des D.I. présentées ou vécues par les participants avec utilisation d'albums jeunesse comme supports	étudiants 3 ^e année Bachelor FC, enseignants Maternelle	Séminaire / Atelier / Animations pédagogiques
65 (84)	Introduction progressive des CS au fil des D.I. présentées ou vécues par les participants avec utilisation d'albums jeunesse comme supports en conférence. Atelier explicitant leur mise en œuvre sur la thématique de l'électricité (D.I. "Comment allumer le nez de l'ours" vécue par les participants)	FC, enseignants C3 et 6 ^e -5 ^e	Conférence 1h suivi d'un atelier 1h30

106. À titre documentaire, une formation réalisée en animation pédagogique avec des enseignants de maternelle sur Nice (gp. 67) a été filmée ; sa transcription complète est disponible en annexe 6.L. C'est la seule formation de ce type à avoir été filmée, les formations de courte durée se prêtant très mal à l'enregistrement. Les lieux de formation sont rarement adaptés : salles des fêtes, classes, salles de cinéma. Mais surtout, dans un temps très limité et avec un public souvent dont la participation à la formation est non volontaire (animations pédagogiques imposées par l'inspection académique), il est très délicat de créer la confiance nécessaire au filmage.

107. Vécues par les participants ou seulement, le cas échéant, présentées par le praticien-chercheur.

108. À titre documentaire, la formation continue de 6 h avec des enseignants de maternelle (Gr. 52) a été filmée et sa transcription est disponible en annexe 6.M.

109. La nomenclature des groupes est définie dans la section méthodologie §4.2.1.4.3.

70 (14)	Identification de critères de scientificité sur un texte historique (Lettre De Périer), mise en commun puis présentation exhaustive des CS	Docteurs, futurs enseignants physique	Atelier
52 (25) & 63 (15) 57 & 69 (32)	Présentation des CS en introduction à la formation et explicitation de leur mise en œuvre au fil des D.I. présentées ou vécues par les participants	FC, enseignants Maternelle, C2 et C3 FI, étudiants L2 et L3	Stage Plan Académique de Formation Cours Licence Sciences et Culture
68 (11)	Présentation des CS en introduction à la formation, préparation d'une séquence sur les leviers et la machine à écraser les biscottes, mise en œuvre dans une classe sur 3 séances et analyse	FI	Ancrage M1EEF

Tableau 6.5.1. : Récapitulatif des formations pour lesquelles les CS ont été introduits explicitement

Pour l'ensemble des formations, le praticien-chercheur a présenté l'outil "critères de scientificité" comme expérimental et en cours de développement pour la science scolaire. Il a sollicité de son auditoire, à ce titre, un retour honnête sous la forme de réponses orales (gr. 67) ou à un questionnaire (tous les autres groupes¹¹⁰) pour évaluer son utilité, l'outil étant en développement. La plupart des participants ont volontiers répondu.

6.5.2. RECEPTION DE L'OUTIL

Introduire directement les CS de façon explicite revient à intégrer dans les formations une part épistémologique. Or, dans le cadre de formations dédiées à l'enseignement des sciences par la démarche d'investigation, les participants s'attendent avant tout à trouver des apports notionnels et pédagogiques. On peut alors s'interroger sur la réception par des enseignants ou futurs enseignants du primaire de cet apport épistémologique.

Pour sonder la réception des critères de scientificité, il a été demandé aux participants en fin de formation de répondre à des questionnaires portant sur l'utilité des critères présentés pour leur pratique et sur leur hiérarchisation de ces critères.

5.2.1. Perception de l'utilité des critères et perspectives d'utilisation

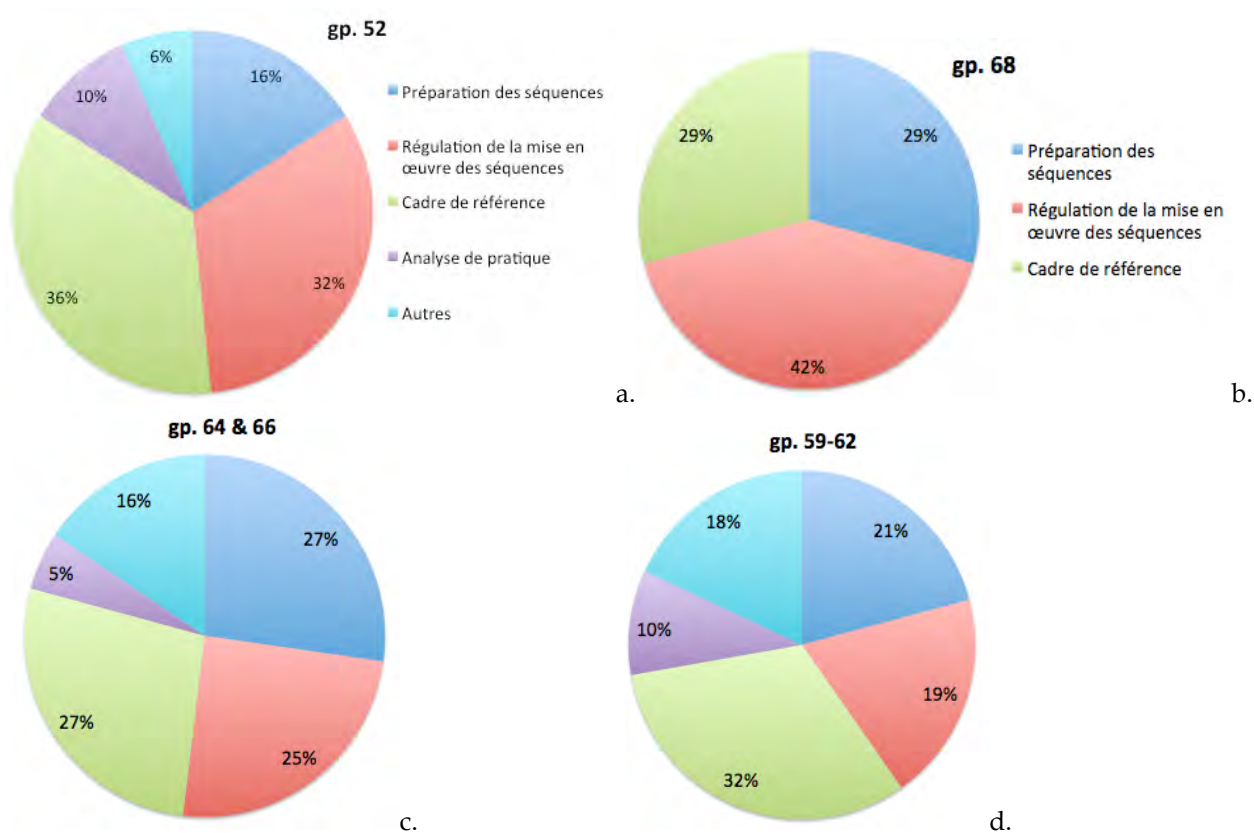
Les participants considèrent à plus de 96% (333 réponses) que les critères présentés leur seront utiles pour leur pratique de classe. Ce résultat semble indépendant de la modalité d'introduction des CS choisie (tableau 5.2.1.a.).

110. Questions posées dans le cadre d'une introduction progressive des critères ainsi qu'au groupe 52 : *Selon vous, les critères présentés sont-ils utiles pour votre pratique ? En quoi ? Classez les 5 critères présentés du plus facile au moins facile à mettre en place dans votre classe.* Questions posées aux groupes 57 et 69 : *Le travail sur les critères de scientificité vous a-t-il semblé utile ? (si oui, en quoi) Auriez-vous préféré un cours avec le même contenu de fond mais sans travail sur les critères de scientificité ?* Questions posées au groupe 68 : *Pensez-vous que les CS vous ont aidé à bien faire des sciences avec les petits ? Pensez-vous que les CS sont utiles ? (si oui, en quoi) Est-ce que vous avez réussi à intégrer les CS dans vos séances ? Pensez-vous les utiliser dans votre pratique de classe ? Lesquels ?* Questions posées au groupe 63 : *Qu'est-ce qui vous a été utile dans ce stage ? Que vous comptez réinvestir ?*

Introduction progressive	Réponses positives	Introduction en bloc"	Réponses positives
gp. 64 & 66	98%	gp. 52	100%
gp. 65	93%	gp. 68	100%
gp. 59, 60, 61, 62	98%	gp. 57 & 69	97%

Tableau 5.2.1.a. : Proportion des participants considérant que la présentation des CS leur est utile suivant la modalité d'introduction choisie

Les applications retenues sont également les mêmes indépendamment des modalités d'introduction des critères. Elles concernent la préparation et la régulation de la mise en œuvre de leurs séquences. Les participants sont également nombreux à y voir un cadre de référence utile pour leur pratique. Enfin, certains les considèrent comme un outil pour réfléchir sur leur pratique passée et future. (Diagrammes 5.2.1.b)¹¹¹



Diagrammes 5.2.1.b. : Proportions des différentes applications des CS évoquées par les participants. En haut : introduction en bloc (a) : pour un total de 31 occurrences, gp. 52 ; (b) : 24 occurrences, gp. 68 ; en bas : introduction progressive (c) : 77 occurrences, gp. 64 & 66 ; (d) 72 occurrences, gp. 59-62.

Il apparaît également que les participants envisagent globalement d'utiliser les critères pour les mêmes usages, qu'ils soient enseignants confirmés ou futurs enseignants, et ce dans des proportions comparables.

111. Pour les enseignants de maternelle, une étude détaillée des réponses est disponible au chapitre § 7.4. Nous n'avons pas présenté les résultats des enseignants chiliens (gp. 65) : peu de réponses sont exploitables et il est difficile de savoir dans quelle mesure cela est dû à la traduction de la question (et des réponses) du français à l'espagnol et réciproquement.

Toutefois, le groupe 68 qui a bénéficié d'un entrelacement entre formation à la démarche d'investigation et mise en œuvre en classe insiste sensiblement plus que les autres groupes (pour lesquels les réponses sont déclaratives) sur l'utilisation des CS pour la régulation de la mise en œuvre des séquences.

La correspondance entre usages effectifs (gp. 68) et envisagés ainsi que le choix des participants de répondre aux questions en dehors du temps de formation¹¹² suggèrent qu'ils ont répondu sérieusement aux questions posées et sont prêts à employer concrètement les CS dans leurs classes.

5.2.2. Hiérarchisation des critères

Cinq critères de scientificité ont été introduits explicitement dans toutes les formations¹¹³ sondées, y compris pour les enseignants de maternelle¹¹⁴ : la *primauté de l'expérience*, la *reproductibilité*, la *robustesse*, l'*exploitation du spectre de généralité* et le *recul*. Il était demandé aux 225 participants sondés¹¹⁵ de classer ces cinq critères du plus (classement en première position, choix 1) au moins (dernière position, choix 5) facile à appliquer dans leur pratique de classe.

Parmi ces critères, les deux derniers sont plus subtils dans leur mise en œuvre et donc *a priori* plus difficiles à s'approprier. Le classement des participants concorde avec cette analyse *a priori* des difficultés susceptibles d'être rencontrées par les enseignants¹¹⁶ :

— *Primauté de l'expérience et reproductibilité.*

Les participants sont plus de 70% à classer les critères de primauté de l'expérience et de reproductibilité parmi les plus faciles à mettre en œuvre (choix 1 et 2). Inversement, ils sont moins de 20% à les classer en choix 4 ou 5. (tableau 5.2.2.a.). *Les critères de primauté de l'expérience et de reproductibilité semblent donc très nettement privilégiés par les participants.*

— *Recul et Exploitation du spectre de généralité.*

Les participants sont moins de 30% à classer l'exploitation du spectre de généralité et le recul en choix 1 et 2. Ces deux derniers critères se retrouvent de façon majoritaire en choix 4 et 5.

Le recul et l'exploitation du spectre de généralité, critères les plus subtils, semblent donc perçus par les participants comme les plus difficiles à mettre en place dans leurs classes.

112. Les participants ont pris le temps de répondre au praticien-chercheur et une grande majorité d'entre eux a fourni un commentaire sur les usages envisagés, le taux de réponses incluant des commentaires variant de 66% à 100%.

113. Les groupes 52 et 70 ont bénéficié d'apports supplémentaires.

114. Cette introduction s'appuyait sur des démarches d'investigation basées essentiellement sur l'utilisation d'albums jeunesse (*Roman de Renart*, *Petit glaçon*, *Plouf!*, *Bascule* ; cf. annexe 2.A. pour la description des séquences correspondantes M07, M11, M13). En pratique, le praticien-chercheur a utilisé avec les participants les CS comme des éléments méthodologiques à respecter pendant les D.I.

115. Il s'agit des participants des groupes 59-62 et 64-66.

116. Le nombre de participants positionnant chacun des critères sur un choix donné pour chaque groupe est disponible en annexe 6.N.

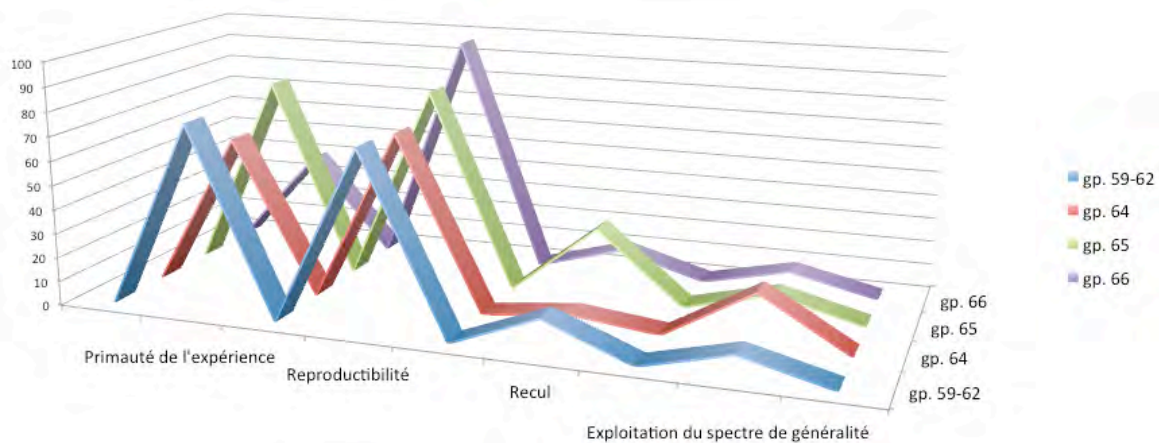


Tableau 5.2.2.a. : Répartition sur les choix 1 et 2 (i.e. : application facile) des critères de primauté, reproductibilité, recul et exploitation du spectre de généralité pour différents groupes.

— Robustesse

La présence du critère de robustesse se répartit sur les différents choix. (tableau 5.2.2.b.) Les participants sont moins tranchés sur la facilité à appliquer le critère de robustesse en classe. Son application nécessite une réflexion et un emploi de matériel supplémentaire qui pourrait être jugé rébarbatif par certains et moins par d'autres.

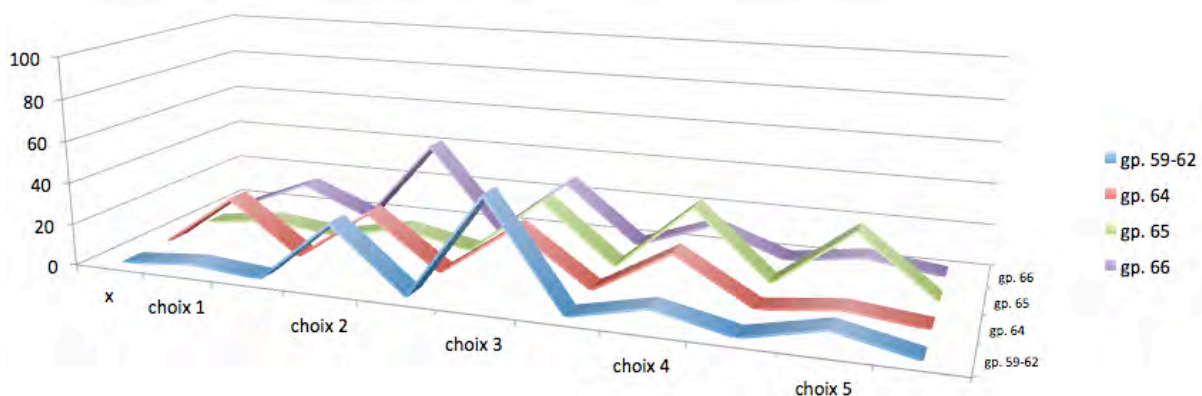


Tableau 5.2.2.b. : Distribution de l'estimation de la facilité de mise en œuvre du critère de robustesse (choix 1 : le plus facile) pour différents groupes.

Pour tester l'influence de la présentation des critères sur leur classement par les participants, le praticien-chercheur a modifié sur le groupe 66 l'ordre de leur présentation. L'accent y a été mis sur la reproductibilité, la robustesse et l'exploitation du spectre de généralité. La primauté de l'expérience a été introduite en deuxième moitié de formation en même temps que le recul. Cette insistance semble avoir renforcé la présence de la reproductibilité en choix 1 des participants et affaibli la présence de la primauté de l'expérience dans les choix 1 et 2 au profit de la robustesse mais n'a pas eu d'impact sensible sur la présence en choix 1 ou 2 de l'exploitation du spectre de généralité (Tableau 5.2.2.b.).

5.2.3. Influence du niveau scientifique

La plupart des participants sondés sont de niveau licence ou master, non scientifiques dans leur grande majorité. Pour tenter d'estimer l'influence de ce niveau scientifique de départ sur la perception des critères, on a profité d'une formation impliquant douze futurs enseignants du secondaire suisse, tous docteurs en sciences. La liste complète des critères a été lue et discutée en groupe. Il leur a ensuite été demandé combien de critères il leur semblait envisageable de travailler sur une année scolaire et, le cas échéant, quels critères privilégier. Le détail des 12 réponses est disponible en annexe 6.O.

Une hiérarchisation commune avec les enseignants du primaire

Presque tous les critères sont cités (à l'exception de l'univocité, de l'économie et de la robustesse d'une loi). *Trois critères sont cités par plus de 75% des étudiants : primauté de l'expérience, reproductibilité et robustesse.* (Tableau 5.2.4.)

<i>Primauté de l'expérience</i>	10	Cohérence lexicale et symbolique	5
<i>Reproductibilité</i>	9	Exploitation du spectre de généralité	3
<i>Robustesse</i>	9	Economie	3
cohérence logique	8	Opportunité	3
Non contradiction interne	8	relativité	3
Non contradiction externe	7	non scolasticité	2
Intégrité	7	Exhaustivité	2
Transmission	6	Non vacuité	2
Recul	6	Cohérence lexicale et symbolique	5

Tableau 5.2.4. : Fréquence de citation des différents CS par des docteurs en sciences (groupe 70, 12 futurs enseignants du secondaire)

On retrouve donc chez des enseignants du secondaire des choix de critères similaires à ceux des enseignants du primaire.

Un résultat étonnant est le peu d'intérêt manifesté pour le critère d'exploitation du spectre de généralité (3/12) et, dans une moindre mesure, pour le critère de recul (6/12) alors que les programmes genevois insistent sur l'importance de la compréhension de la modélisation par les élèves.

Par ailleurs la faible représentation de la non scolasticité n'est pas liée à une mésestimation de son importance épistémologique. Les étudiants ont exprimé en cours leur attachement à ce critère *en tant que scientifiques* ; mais ils semblent réticents *en tant qu'enseignants* à le mettre en avant, du fait de la tension évidente entre la posture d'enseignant, figure d'autorité dans sa classe, et le refus de l'argument d'autorité.

Un nombre de critères susceptibles d'être travaillés plus important

Aucun consensus ne s'établit sur le nombre de critères de scientificité qu'il est envisageable de travailler en classe. Son estimation varie de 2 à 15, un seul étudiant considérant qu'il est possible de tous les travailler sur une année. Quatre étudiants citent moins de 5 critères, 3 en citent 8, 2 en citent 9, 3 en citent plus de 12.

5.2.4. Premier bilan

Des ajouts épistémologiques de CS dans les formations sont perçus très favorablement par les participants (> 96%), et ce indépendamment des modalités d'introduction choisies par le praticien-chercheur.

Un suivi sur le long terme serait néanmoins nécessaire pour s'assurer de leur utilisation effective en classe. Seule une étude exploratoire (cf. section suivante) été possible dans le cadre de cette recherche, certains participants à des formations prenant parfois 3 ans avant de se décider à mettre en place des outils proposés en formation.

On constate par ailleurs une hiérarchie assez claire des critères, la primauté de l'expérience, la reproductibilité et la robustesse étant considérés comme les plus faciles à mettre en place dans la classe. Ce classement semble robuste et dépasser le cadre de l'enseignement primaire (5.2.3.). On retrouve des résultats pressentis lors de la formation avec apports méthodologiques.

Inversement, l'évaluation des critères de recul et d'exploitation du spectre de généralité comme difficiles à mettre en œuvre semble peu dépendante du niveau d'étude.

6.5.3. APPROPRIATION DE CRITERES DE SCIENTIFICITE : PREMIERS RESULTATS

On s'intéresse maintenant à ce que disent les enseignants des critères *lorsqu'on ne les interroge pas spécifiquement* sur cet aspect de la formation. Un questionnement ouvert leur offre en effet la possibilité de se focaliser sur les aspects notionnels et pédagogiques traditionnellement attendus en formation sans préciser les apports épistémologiques. Vont-ils alors évoquer le travail relatif à la scientificité de la démarche ou s'en abstenir ?

Une telle approche fournit des indices forts de l'appropriation des critères par les participants. On peut en effet considérer qu'un enseignant qui intègre les critères de scientificité dans sa réponse se les ait appropriés. (5.3.1.) L'étape suivante consiste alors à leur demander, 6 mois après la formation, s'ils ont utilisés les critères présentés dans leur pratique de classe. (5.3.2.)

5.3.1. Appropriation des CS pendant la formation

Les 15 enseignants du groupe 63 ont été choisis pour cette étude car ils bénéficiaient d'une formation concentrée sur 4 jours avec introduction explicite des critères de scientificité et s'engageaient à participer à un jardin des sciences avec leur classe.¹¹⁷ Cela permettait, d'une part, de s'assurer qu'ils allaient mettre

117. Cette étude a été rendue possible grâce à l'I.E.N. de circonscription, M. Étienne Rigout qui a donné carte blanche au praticien-chercheur sur les modalités de la formation et grâce aux participants qui ont accepté de donner de leur temps en dehors de la formation pour rédiger, le soir, ce que la formation leur avait apporté sous la forme d'un journal de bord. Leurs témoignages, librement rédigés et partagés avec le praticien-chercheur, fournissent en effet un éclairage précieux sur leur perception des critères et de leur apprentissage.

en œuvre au moins une démarche d'investigation dans leur classe dans les 6 mois suivant la formation et donnait d'autre part la possibilité de les recontacter.

Témoignages au jour le jour

11 enseignants sur 15 (73%) ont rendu des témoignages¹¹⁸ au jour le jour de ce que la formation leur apportait. Ils y notaient leurs surprises, leurs difficultés à saisir certains éléments, leurs satisfactions. Les démarches d'investigation vécues ou présentées y sont également souvent mentionnées.

Parmi eux, 10 sur 11 (90%) mentionnent les critères de scientificité dans leurs comptes rendus. Leurs retours montrent pour beaucoup une appropriation et une prise de conscience progressive de l'intérêt et de l'utilisation des critères dans leur pratique de classe.

Il ressort de ces témoignages que les critères de scientificité sont d'abord perçus comme un outil pour clarifier ce qu'est la science ou comme un cadre de référence par six participants, trois d'entre eux (E2, E3, E4) le précisant explicitement. Trois autres enseignants semblent quant à eux les percevoir directement d'un point de vue utilitaire, comme un outil pour la mise en œuvre des D.I. dans leur classe (E6, E8, E12).

L'impression d'ensemble que laissent ces témoignages est que les enseignants sont dans une dynamique de réflexion sur la démarche à mettre en place avec les élèves dans le cadre de l'enseignement des sciences. Les critères présentés et les démarches d'investigation vécues leur servent de points d'appui pour mener leur réflexion.

Questionnaire final

En fin de formation, les enseignants ont été interrogés de façon générale sur ce qui leur a été utile pendant la formation longue et sur ce qu'ils envisagent de réinvestir.¹¹⁹

Dix participants mentionnent explicitement les critères de scientificité (66%) et trois autres précisent qu'il était utile « *de bien redéfinir les sciences et la démarche associée* » (E13) ou d'éclaircir ce qu'est la démarche scientifique (E14 et E15).

Au total, 13 participants sur 15 (86%) incluent les apports épistémologiques dans ce qu'ils considèrent utile dans la formation. On trouve donc ici des résultats similaires à celui obtenu par un questionnement direct sur l'utilité des critères de scientificité pour les enseignants.

118. Les témoignages et les réponses aux questions posées en toute fin de formation sont disponibles *in extenso* en annexe 6.P. Un tableau rassemblant en vis à vis sur une page les éléments relatifs à la nature de la science exprimés par chaque participant au cours du stage et dans le questionnaire final est également disponible en annexe.

119. Le questionnaire comporte trois questions sans référence à la nature de la science : *Qu'est-ce qui vous a été utile dans ce stage ? Qu'est-ce que vous comptez réinvestir ? Qu'est-ce qui vous manque encore ?* Plusieurs enseignants regrettent seulement le manque temps pour pouvoir vivre plus de démarches d'investigation lors de la formation, e.g. « *Les 4 journées ont permis de voir et même d'approfondir un certain nombre d'expériences. La démarche scientifique est beaucoup plus claire et on se rend compte que mis à part l'aspect matériel, c'est très réalisable en classe. Ce qui manque, c'est le temps de faire toutes les expériences pour les vivre vraiment.* » (E14)

Enfin, 9 participants sur 15 (60%) expriment l'intention de réinvestir les critères de scientificité dans leurs classes. Parmi eux, 4 mentionnent la primauté de l'expérience et 2 la robustesse. On retrouve ici deux des critères jugés les plus faciles à mettre en œuvre en classe précédemment.

5.3.2. Mise en œuvre en classe

Six mois après la formation, quatre questions¹²⁰ relatives à leur usage des critères de scientificité dans leur pratique de classe ont été posées aux enseignants.

Six enseignants sur quinze ont accepté d'y répondre par écrit, soit 40 %.¹²¹ Les réponses complètes sont disponibles en annexe 6.Q.

Un septième participant a fourni ses réponses oralement au praticien-chercheur et indiqué qu'il utilisait la primauté de l'expérience, la reproductibilité et la robustesse dans sa classe.

Tous les enseignants ayant répondu par écrit réaffirment l'utilité pour eux des critères de scientificité. Pour trois d'entre eux, cet outil leur évite de fournir des connaissances magistrales aux élèves et les incite à leur laisser du temps pour mener leurs propres recherches ; pour un autre, il sert de cadre de référence. Enfin, un enseignant admet que les CS lui ont permis d'aller plus loin dans sa pratique de classe, alors même qu'il les considérait initialement comme surtout utiles pour sa formation personnelle.

Tous les enseignants qui ont répondu indiquent qu'ils ont mis en œuvre les critères¹²² de primauté de l'expérience et de reproductibilité. Cinq sur six ont également mobilisé le critère de robustesse.¹²³ Les critères mis en œuvre pendant les démarches d'investigation avec les élèves sont donc les trois CS qui étaient jugés les plus faciles à mettre en œuvre par les participants du 6.5.2.

Les critères introduits en formation sont donc utilisés en classe dans les six mois suivant la formation par presque la moitié des participants (7/15).

120. À savoir : 1. La notion de critères de scientificité vous paraît-elle utile pour un enseignant du primaire ? En quoi ? 2. Vous êtes-vous appuyés sur la notion de critères de scientificité pour définir les objectifs pédagogiques et construire votre séquence ? Si oui, quels critères particuliers et pourquoi ceux-là ? 3. En classe, ces critères vous ont-ils aidé à piloter le déroulement ? Si oui, pouvez-vous raconter brièvement un exemple. 4. Avez-vous eu le sentiment que cette approche a permis de préparer vos élèves à une formation scientifique plus avancée et de leur donner une idée de ce qu'est la science ?

121. Ce taux de réponse de 40% est honorable pour un questionnaire qui interrogeait les enseignants sur leur pratique de classe effective et dont la teneur des questions levait l'anonymat (demande de description d'événements vécus dans la classe).

122. Leur reprise de ce terme, employé en formation, ne signifie pas nécessairement qu'ils aient introduit ces notions *en tant que critères de scientificité*, c'est-à-dire lors d'un questionnaire sur la nature scientifique ou non d'une pratique donnée. Il nous semble probable que les réponses doivent s'interpréter en termes d'insistance sur la vérification de leur reproductibilité et de leur robustesse.

123. Deux enseignants en cycle 3 ont également utilisé les critères d'exploitation du spectre de généralité et celui de recul, en naviguant entre les observations et leur représentation sous la forme de graphes des résultats. On constate que d'une façon générale les exemples qu'ils fournissent pour la mise en œuvre des critères correspond effectivement au contenu du critère considéré.

6.6. Synthèse et perspectives

Une majorité des enseignants du primaire sondés ne disposent pas de critères de scientificité opératoires pour distinguer ce qui relève de la science de ce qui n'en relève pas. Ces résultats sont conformes aux résultats existants dans la littérature.

Stratégies d'introduction d'une vision de la nature de la science

La démarche d'investigation simple, telle que nous l'avons mise en œuvre avec les participants, permet de modifier le rapport à l'expérience des enseignants et futurs enseignants mais pas leur appropriation des éléments de scientificité mobilisés implicitement en situation comme la reproductibilité ou la robustesse.

Ce résultat négatif a conduit à l'exploration d'autres approches susceptibles de modifier le rapport à la nature de la science des participants. L'ajout d'une réflexion sur la scientificité des démarches vécues par les participants sans explicitation des critères de scientificité par le praticien-chercheur s'est à son tour révélé peu efficace, au contraire d'apports d'abord méthodologiques puis épistémologiques explicites.

Il s'est avéré de plus que les apports épistémologiques explicites sont très bien reçus par les enseignants et futurs enseignants qu'il ne semble pas difficile d'intéresser à un questionnement sur la nature de la science.

Quels outils épistémologiques ?

Parmi les critères les plus susceptibles d'être appliqués, les participants privilégient la primauté de l'expérience, la reproductibilité et la robustesse. De fait, ce sont effectivement ceux mis en œuvre par les enseignants qu'il a été possible de suivre six mois après une formation incluant une introduction explicite des critères de scientificité.

L'introduction explicite de critères de scientificité dans des formations à la démarche d'investigation semble donc contribuer à la construction d'une représentation de la science plus efficace chez les participants et à la mise en œuvre de démarches d'investigation en classe respectueuses de critères choisis délibérément par les enseignants.

On peut néanmoins s'interroger sur le déploiement de critères de scientificité plus abstraits comme le recul ou l'exploration du spectre de généralité. La grande prudence des participants vis-à-vis de ces deux critères s'explique en partie par leurs propres difficultés à distinguer les modèles du monde physique et les formulations particulières des générales ainsi qu'à évaluer la portée des généralités formulées.

Faut-il dans ces conditions choisir de mettre l'accent sur les critères les plus susceptibles d'être appropriés comme la reproductibilité, la robustesse et la primauté de l'expérience ou au contraire insister sur les critères plus difficiles comme le recul et d'exploitation du spectre de généralité ? Une initiation plus systématique des futurs enseignants à l'épistémologie serait-elle utile ? Des études complémentaires restent à mener avant de pouvoir répondre à ces questions.

Partie 7

Une science pour les petits ?

L'objectif principal de ce chapitre est d'une part de montrer qu'il est possible, au-delà de la simple « découverte du monde » préconisée par les programmes, d'authentiquement « faire des sciences » avec des petits de 5-6 ans ; et d'autre part de discuter le sens que l'on peut donner à ce terme dans le contexte de la grande section de maternelle.

Dans un premier temps, on s'appuiera sur plusieurs études de cas pour discuter de la nature scientifique, ou non, des pratiques observées avec des élèves de grande section de maternelle. Celles-ci concernant aussi bien la méthodologie expérimentale (§ 7.1) que le rapport à la fiction (§ 7.2), on considérera dans un second temps leurs conséquences en termes de préparation d'élèves de grande section à la modélisation, (§ 7.3). On élargira ensuite le questionnement initial à des élèves de CP et CE1 (§ 7.4) et on sondera le sens que de jeunes élèves attribuent au mot *science* après avoir participé à une manifestation "scientifique" (§ 7.5). Enfin, les réponses fournies par des enseignants de maternelle permettent un premier retour sur la réception des critères de scientificité en tant qu'outil pédagogique par des utilisateurs sur le terrain (§ 7.6).

7.1. Premiers contacts avec la méthode expérimentale en grande section

Est-il possible à des élèves de grande section de maternelle ("GS", 5-6 ans) de s'approprier des éléments de méthodologie scientifique ?

Pour le déterminer, on a procédé à des entretiens spécifiques avec 68 élèves de GS. L'objectif est d'évaluer leur maîtrise d'éléments de scientificité spécifiques travaillés en classe et lors d'un « jardin des sciences »¹ et leur capacité à les souligner dans une argumentation. Les élèves de trois classes de grande section de Peymeinade (Alpes-Maritimes) ont participé à cette étude. Chaque classe a travaillé sur une séquence différente, choisie par l'enseignant parmi celles développées pour l'organisation de jardin des sciences.

Outre la détermination des enseignants à participer à un Jardin des sciences, le seul critère de sélection de ces classes a été l'intérêt de l'I.E.N. de circonscription pour ces manifestations et pour le présent travail, qu'il a bien voulu autoriser et faciliter.

Les éléments de méthodologie scientifique sondés étaient déterminés par le choix, par les enseignants, de séquences qui permettent un travail plus ou moins prononcé sur certains d'entre eux. Les élèves ont été interviewés dans les quinze jours qui suivent leur participation au jardin des sciences.² Les entretiens ont été réalisés en suivant la méthodologie présentée dans la section 4.2.2.3. L'âge des petits limite leur durée à une vingtaine de minutes.

7.1.1. PRE-REQUIS

1.1.1. Capacités d'expression et de compréhension en GS

Une difficulté rencontrée avec les élèves de grande section est d'être sûr de comprendre ce qu'ils disent. Une autre est de s'assurer qu'ils comprennent les questions qui leur sont posées. Les élèves de grande section sont en effet en cours d'acquisition de nombreuses compétences langagières³ et leur maîtrise des nuances de la langue et leur capacité à argumenter restent souvent encore limitées.

Différentes stratégies permettent au chercheur de limiter les risques d'incompréhension :

- proscrire l'emploi de termes techniques qui ne renvoient pas à un contenu clair pour des élèves de grande section (e.g. *expérience*, *résultat*).
Faute de maîtrise du vocabulaire associé à certains concepts spécifiques

1. Le concept de jardin des sciences est présenté dans l'Annexe 2.A. de même que seize séquences complètes conçues pour les élèves de maternelle.

2. En l'occurrence, le Jardin des sciences de Peymeinade (Alpes-Maritimes), le 6 juin 2013.

3. Le tableau des progressions des apprentissages à l'école maternelle indique ainsi qu'en fin de GS, les élèves doivent être capables de justifier une préférence ; de dire, décrire, expliquer après avoir terminé une activité ; de relater un événement inconnu des autres ; de produire un oral compréhensible par autrui ; de participer à une conversation en restant dans le sujet de l'échange ; de produire des phrases correctement construites ; d'utiliser un vocabulaire pertinent. Document accessible sur le site du ministère de l'éducation nationale : <http://www.education.gouv.fr/cid33/la-presentation-des-programmes-a-l-ecole-maternelle.html> (consulté août 2014)

(e.g. le *volume*), il n'est pas toujours simple de trouver une formulation à la fois précise, univoque et compréhensible par les élèves. Il faut alors parfois savoir accepter une certaine ambiguïté dans la formulation et s'appuyer sur le contexte pour la lever.

- précéder les questions de précurseurs portant sur des situations particulières souvent plus faciles à comprendre des élèves et qui permettent de les exemplifier.
- utiliser dans la mesure du possible du matériel connu des élèves pour faciliter leur compréhension de certains mots et leur permettre au besoin de montrer ce qu'ils ne peuvent dire avec des mots.
- répéter de ce qui vient d'être dit par un élève ou le reformuler pour s'assurer de la bonne compréhension par l'adulte de ce qu'il vient de dire.
- prévoir d'adapter la formulation aux compétences variables des élèves et prévoir des questions qui supportent de nombreuses reformulations, des erreurs de compréhension étant prévisibles.

Le chercheur n'est cependant pas à l'abri de surprises. Le sens de certains mots évidents pour un adulte (e.g. « *utile* » ou « *identique* ») n'est pas forcément connu de tous les élèves, ce qui peut restreindre sérieusement le questionnement si l'on ne dispose pas de synonymes ou d'expressions de remplacement au moment où la difficulté apparaît.

En revanche, les élèves de GS font rarement semblant de comprendre. Ils informent facilement le chercheur de leur non compréhension d'un mot ou d'une question. De même, ils hésitent rarement à admettre leur ignorance, au contraire d'élèves plus âgés, de collège par exemple.

1.1.2. Une expérience préliminaire sur le rapport à l'autorité

Les jeunes élèves ont souvent du mal à remettre en cause les discours provenant d'une autorité comme l'enseignant ou les parents. Cette difficulté évolue avec l'âge,⁴ mais cela reste souvent compliqué en grande section de maternelle.

Si la source en était une incapacité des élèves de maternelle à penser par eux-mêmes face à un discours d'autorité, donc une absence générale d'esprit critique en classe, il serait difficile d'y concevoir la construction d'éléments de méthodologie scientifique.

Néanmoins, les élèves de GS sont dans une phase de leur développement intellectuel où leur esprit critique trouve à s'exprimer. Même lorsqu'ils ont encore du mal à contredire le maître, ils identifient des dissonances et semblent « n'en penser pas moins ».

Pour tenter de consolider cette intuition, nous avons donc suscité une expérience testant la réaction d'une classe face à une contradiction claire entre une affirmation d'une enseignante volontaire et ce que pouvaient clairement observer les enfants.

4. William A. Sandoval. « Elementary Children's Judgments of the Epistemic Status of Sources of Justification ». *Science Education*, 95 (3), pp. 383-408.

Une enseignante de Peymenade, Pascale G  roux, s'est pr  t  e au test avec ses 21 élèves de GS. Au cours de l'année, ceux-ci avaient mené un travail sur les transvasements⁵ et, en particulier, appris à identifier lequel de deux pots identiques contient la plus grande quantité de liquide. Le test a été réalisé en fin d'année scolaire, sans témoin extérieur à la classe.

Modalités du test :

L'expérience menée en classe consistait à transvaser dans deux pots identiques les contenus d'un pot étroit et celui d'un pot large pour en déduire lequel contenait initialement le plus de liquide, la différence de niveau étant suffisante pour lever toute ambigüité.

Suite au transvasement, l'enseignante a alors délibérément soutenu que le pot qui contenait le plus de liquide était celui dont, visiblement, le niveau était le plus bas. Confrontés à cette contradiction patente entre l'évidence expérimentale et l'affirmation de l'enseignante, en position d'autorité, les élèves ont ensuite été interrogés à tour de rôle par l'enseignante qui a pris en note leurs réactions.

Résultats :

Sur les vingt-et-un élèves interrogés individuellement :

- Deux ne contredisent pas l'enseignante.
- Quatre la contredisent ouvertement et lui montrent le pot dont le niveau est effectivement le plus haut.
- Les autres ne la contredisent pas verbalement, voire pour quatre d'entre eux disent « oui », mais lui montrent le pot correct. Certains, pour reprendre ses termes, « font la moue » (2 élèves) ; un élève la « regarde en souriant », un autre a « l'air g  n   », un autre encore « dit oui mais fait non avec la tête ».

L'ensemble des réactions des élèves est résumé dans le tableau 1.1.2. :

Kristina	Me montre le petit pot en inversant : « c'est celui-là qui a le moins et celui-là qui a le plus ».	Angélique	« C'est celui-là qui a le plus. Non, là on voit que c'est plus haut et là c'est plus bas. »
Talia	Répète la question. « celui qui a le plus, c'est celui qui a le moins, je comprend pas ce que ça veut dire, ça se peut pas. »	Livio	« Il en a le plus, hmm... Si, c'est celui-là qui en a le plus. » Me regarde en souriant et me montre le pot correct
Anaïs	« Lui a le plus, lui a le moins » en me montrant les bons petits pots	Lilian	« oui » mais montre l'autre pot. « c'est celui-là qui en a le plus. Moi, j'aurais dit celui-là. »
Emma	« je ne sais pas »	Anaïs	« Oui »
Adrian	Fait la moue. « c'est celui où il y a le plus qui a le plus »	Nicolas	« oui, sauf que là c'est un peu trop haut. Là, c'est bas. »
Mélissa	Fait la moue, non de la tête	Morgane	« Euhh, non. Celui-là, il a le plus d'eau. »
Quentin	« C'est celui-là » et me montre le pot où il y en a le plus. Me dit « oui ».	Nathan	« C'est pas normal. J'ai la bonne réponse. »
Adrien	Un « pourquoi ? » bien embêté	Gianni	Dit « oui » mais fait « non » avec la tête
Rafaël	« oui »	Diego	« oui » mais air g��n��
Titouan	« Non, lui, il en a le plus, là il est plus haut, là il est plus bas. »	Raphaël	Me regarde en penchant la tête : « lui, il a le plus » en montrant le bon pot.
Timo��th��	Me montre l'autre pot, « oui »		

Tableau 1.1.2. : Réponses des élèves à l'enseignante face à la contradiction

5. cf. infra, à 7.1.3.1.1., pour les informations relatives à cette classe et à cette séquence.

Commentaire :

Il semble donc que, dans cette classe du moins, les élèves de grande section trouvent des moyens pour essayer de faire comprendre à la maîtresse quelle se trompe, sans risquer de la « vexer ». Dans une situation limpide, plus de 90% d'entre eux donnent la primauté à ce qu'ils observent sur l'autorité de la maîtresse.

Même si la question du rapport à l'autorité déborde amplement le cadre de cette étude, le simple fait que des élèves de grande section ne soient pas subjugués par ce que dit leur enseignant et puissent penser par eux-mêmes suggère qu'il est possible de commencer à travailler des éléments de méthodologie scientifique avec des élèves de ce niveau.

Pour tenir compte aussi bien des difficultés liées à la maîtrise du langage que de celles associées au rapport que les élèves entretiennent à l'autorité, nos questions seront posées très soigneusement. Nous serons également attentif non seulement aux réponses verbales mais aussi gestuelles et à leur contradiction éventuelle. Comme les élèves peuvent avoir des idées qu'ils n'expriment pas spontanément et que leur mise en confiance semble essentielle pour récupérer autant que faire se peut leurs idées, nous n'excluons pas la possibilité de les « accoucher » un peu éventuellement. Cela implique donc des entretiens en petits groupes et relativement longs (typ. 20 mn).

7.1.2. QUESTIONS POSEES ET TYPOLOGIE DES REPONSES

Préalablement aux entretiens avec les élèves de GS, des entretiens sans canevas ont été menés avec des élèves de CP et de CE1. Les réactions de ces élèves à des questions posées sur le vif ont permis, d'une part, d'identifier les questions les plus pertinentes pour l'expression d'éléments de scientificité particuliers et d'autre part de réaliser une typologie des réponses. La formulation des questions est par ailleurs validée par l'enseignant de la classe interrogée, à même d'identifier celles susceptibles de poser des problèmes de compréhension à leurs élèves.

Leur participation au jardin des sciences sert de support au questionnement des élèves. La formulation des questions vise dans un premier temps à obtenir un retour spontané sur les éléments de scientificité testés. Dans un second temps elles se font plus directives afin d'inciter l'élève à se positionner. Seules les questions génériques associées aux éléments de scientificité sondés sont présentées ici.

Les réponses considérées comme révélatrices d'une appropriation (ou d'un début d'appropriation) d'un élément de scientificité par les élèves sont indiquées comme "significatives" dans les tableaux ci-dessous.

1.2.1. Perception des enjeux

Un premier objectif est d'évaluer la capacité des élèves à justifier les expériences réalisées.

Une première question ouverte (« *Comment expliquerais-tu à un enfant qui ne connaît pas du tout le jardin des sciences ce que l'on y fait ?* ») sonde donc leur

représentation de la manifestation. Elle cherche à évaluer leur capacité à justifier les expériences réalisées au cours de la journée. Les réponses exprimant simplement le plaisir d'expérimenter ou de jouer avec des expériences ne sont pas considérées comme significatives en termes d'appropriation de l'objectif de la manifestation ; celles qui dépassent ce stade pour associer l'expérimentation à la recherche de réponse à une question ou à un apprentissage particulier sont en revanche considérées comme significatives.

Une deuxième série de questions teste leurs réactions face à une situation hypothétique où des visiteurs n'auraient pas perçu l'enjeu de leur animation : (« *En partant de ton stand, un enfant te dit qu'il s'est bien amusé à [élément sans rapport avec l'objectif visé]. Qu'en penses-tu ? Est-ce qu'il a compris ce que tu voulais faire ?* »). Il s'agit d'identifier leur capacité à justifier les expériences qu'ils ont fait vivre aux visiteurs.

Enfin, il leur est explicitement demandé ce qu'ils voulaient faire (ou que leurs visiteurs comprennent) sur l'animation.

Demandes de justification des expériences réalisées	Typologie des réponses	réponse	
		non signific.	significative
<i>Comment expliquerais-tu à un enfant qui ne connaît pas du tout le jardin des sciences ce que l'on y fait ?</i>	JDS = endroit où l'on s'amuse	X	
	JDS = endroit où l'on apprend (en s'amusant)	X	
	JDS = endroit où l'on fait des expériences	X	
	JDS = endroit où l'on fait des expériences pour trouver des réponses		X
	JDS = endroit où l'on fait des expériences pour comprendre/ chercher/ apprendre des choses		X
	Autre	X	
<i>En partant de ton stand, un enfant te dit qu'il s'est bien amusé à [élément sans rapport avec l'objectif visé]. Qu'en penses-tu ?</i>	Content de s'être amusé	X	
	Déçu de n'avoir pas compris l'objectif de l'atelier		X
	Autre	X	
<i>Est-ce qu'il a compris ce que tu voulais faire ?</i>	Non, sans justification	X	
	Non, énonce l'objectif visé par l'atelier spontanément		X
	Autre	X	
<i>Que voulais-tu que tes visiteurs comprennent sur cet atelier ?</i>	Ne sait pas	X	
	Réponse partielle	X	
	Énonce l'objectif visé par l'atelier		X
	Autre	X	

Tableau 1.2.1. : Grille de lecture des réponses au regard des demandes de justification des expériences

1.2.2. Paramétrisation

Les questions partent des paramètres travaillés en classe par les élèves, pour s'en éloigner progressivement. Lorsque les élèves ont fait varier des paramètres indifférents sur le jardin des sciences, il leur en est demandé d'en justifier la raison. La même question est posée à propos des paramètres indifférents qu'ils ont testés en classe. Il leur est ensuite proposé de réagir à des modifications de paramètres indifférents qu'ils n'ont pas effectivement expérimentés. Enfin,

l'utilité même de telles procédures est questionnée : « *Est-il utile de changer des choses pour voir si cela change le résultat ?* ».

Questions sur la pertinence des paramètres considérés	Typologie des réponses	réponse	
		non signific.	significatives
<i>En classe/sur le jardin des sciences, vous avez changé le [paramètre indifférent dont la non pertinence a été vérifiée en classe] de l'élément x. Pourquoi ?</i>	pas de justification	X	
	variation justifiée par la volonté de la maîtresse	X	
	variation justifiée par le plaisir d'essayer des choses différentes	X	
	variation justifiée par la volonté de voir si cela change qq. chose au résultat		X
<i>Est-ce que cela change qq chose si pour l'expérience au lieu de prendre x [élément contenant un paramètre non pertinent travaillé en classe] on prend y [élément avec une variation du paramètre non pertinent travaillé en classe] ?</i>	cela ne change rien, identification du paramètre comme non pertinent	passer à la question suivante	
	cela change quelque chose	rend question suiv. caduque	
	ne sait pas	rend question suiv. caduque	
<i>Comment le sais-tu ?</i>	ne sait pas	rend question suiv. caduque	
	"Je le sais parce qu'on a essayé."	passer à la question suiv.	
	Autre	X	
<i>Est-ce que c'est important de vérifier ?</i>	non	X	
	ne sait pas	X	
	oui, justification de type "sinon on ne peut pas savoir"		X
	oui, justification de type "on est plus sûr"		X
	oui, justification de type "on peut se tromper"		X
	Autre	X	
<i>A quoi cela sert-il d'essayer avec des [éléments dont un paramètre non pertinent connu varie] différents ?</i>	ne sait pas	X	
	faire plaisir à la maîtresse	X	
	pour essayer des choses différentes	X	
	pour voir si cela change qq. chose au résultat		X
	pour être plus sûr de ce que l'on peut faire		X
	autre	X	
<i>Est-ce que tu as changé d'autres choses en classe pour voir si cela changeait le résultat ?</i>	ne sait pas	X	
	identification par l'élève d'autres paramètres qui ne changent pas le résultat		X
	autre	X	
<i>Est-ce que cela change qq chose si au lieu d'utiliser [élément avec un paramètre indifférent non travaillé en classe] on prend [autre élément avec une variation de ce paramètre indifférent non travaillé en classe] ?</i>	ne sait pas	X	
	non, identification par l'élève d'un nouveau paramètre qui ne change pas le résultat		X
	oui, identification par l'élève d'un paramètre pertinent		X
	suggère qu'il faut essayer pour être sûr		
<i>Comment le sais-tu ?</i>	pas de justification	X	
	s'appuie sur une généralité pour justifier		X [et exploitation du spectre de

			généralité] ⁶
	il faut essayer pour être sûr		X
	autre	X	
<i>Est-ce que c'est important de vérifier ?</i>	ne sait pas	X	
	non	X	
	oui sans justification	X	
	oui, pour être sûr, parce que l'on peut se tromper		X
<i>Est-il utile de changer des choses pour voir si cela change le résultat ?</i>	ne sait pas	X	
	non	X	
	oui sans justification	X	
	oui pour voir ce qui se passe		X
	oui pour être plus sûr		X
	oui pour vérifier que cela ne change vraiment pas		X
	autre	X	

Tableau 1.2.2. : Grille de lecture des réponses au regard de la pertinence des paramètres considérés

1.2.3. Reproductibilité

Il est demandé aux élèves d'évaluer la possibilité que les expériences réalisées sur leur atelier puissent ne pas être reproduites par des élèves différents :

« Deux enfants différents font la même chose sur ton atelier, est-ce qu'ils peuvent trouver des choses différentes ? »

puis de réagir à l'affirmation par deux élèves d'un tel événement :

« Ils te disent qu'ils trouvent des choses différentes : que réponds-tu ? »

Il leur est également demandé d'évaluer la possibilité qu'une même expérience donne des résultats différents dans la classe d'un élève visiteur :

« Sur le Jardin des sciences, un enfant te dit que ce qu'il a fait marche sur le jardin des sciences parce que c'est un jardin des sciences mais que dans sa classe cela ne marchera pas. Que lui réponds-tu ? ».

Enfin, il leur est demandé de se positionner par rapport à l'affirmation d'un élève pour qui c'est par jeu qu'on refait plusieurs fois une expérience :

« Un enfant dit qu'il aime bien refaire plusieurs fois la même chose parce que c'est amusant. Qu'en penses-tu ? »

Il leur est également demandé s'ils ont d'autres idées de la raison pour laquelle on reproduit des expériences :

« A quoi cela sert-il de refaire plusieurs fois la même chose d'après toi ? »

Questions sur la reproductibilité des expériences réalisées	Typologie des réponses	Interprétation en termes de reproductibilité : réponse	
		non signific.	significatives
<i>Deux enfants différents font la même chose sur ton atelier, est-ce qu'ils peuvent trouver des choses différentes ?</i>	ne sait pas	X	
	oui	X	
	non, sans justification	X	
	non, si on fait la même chose, on trouve la même chose		X
	autre	X	

6. Lorsque les élèves expriment une généralité, le chercheur les relance pour évaluer leur perception de ses limites et leur capacité à la manipuler et à naviguer entre le général et le particulier (compétence associée à l'exploitation du spectre de généralité).

Ils te disent qu'ils trouvent des choses différentes : que fais-tu ?	ne sait pas	X	
	je dis qu'ils se sont trompés		+/- ⁷
	demande qu'ils refassent		X
	autre	X	
Un enfant dit qu'il aime bien refaire plusieurs fois la même chose parce que c'est amusant. Qu'en penses-tu ?	ne sait pas	X	
	d'accord	X	
	on refait "pour mieux retenir"	X	
	on refait "pour ne pas se tromper"		+/- ⁷
	on refait "pour être sûr"		X
	Autre	X	
Sur le jardin des sciences, un enfant te dit que ce qu'il a fait marche sur le jardin des sciences parce que c'est un jardin des sciences, mais que dans sa classe cela ne marchera pas. Que lui réponds-tu ?	affirmation "c'est pareil"		X
	affirmation "c'est pareil, je l'ai déjà fait en classe et ça marche"		X
	proposition "essaie dans ta classe et tu verras" ⁸		X
	autre	X	
A quoi cela sert-il de refaire plusieurs fois la même chose d'après toi ?	ne sait pas	X	
	non	X	
	on refait "pour mieux retenir"	X	
	on refait "pour ne pas se tromper"		+/- ⁷
	on refait "pour être plus sûr"		X
	autre	X	

Tableau 1.2.3. : Grille de lecture des réponses au regard du concept de reproductibilité

1.2.4. Rapport à l'expérience

Le chercheur invite d'abord les élèves interviewés à se positionner face à une situation asymétrique à propos d'un paramètre qu'ils savent indifférent : un autre enfant qui, lui, ne l'aurait pas testé considérerait néanmoins comme inutile de refaire l'expérience pour connaître son résultat.

« Un enfant a juste fait l'animation avec [élément avec paramètre indifférent] et il dit que qu'il n'a pas besoin d'essayer pour savoir que c'est pareil si on remplace [élément avec paramètre indifférent] par [élément avec variation du paramètre indifférent]. Que lui réponds-tu ? »

Une deuxième question permet d'identifier la procédure par affirmation ou par expérimentation choisie de façon privilégiée par les élèves interrogés pour en aider d'autres :

« Un enfant sur le jardin des sciences te dit que ce qu'il a fait marche sur le jardin des sciences parce que c'est un jardin des sciences, mais que dans sa classe cela ne marchera pas. Que lui réponds-tu ? »

Une troisième question invite à proposer d'essayer pour savoir :

« Il ne te croit pas, que lui proposes-tu ? »

7. La phrase « ils se sont trompés » peut recouvrir de très nombreuses significations (qui le pronom désigne-t-il ? les élèves se sont-ils trompés tous les deux ? et sinon, comment savoir lequel des deux s'est trompé ?), de même qu'une justification du type « pour ne pas se tromper » (qui peut aussi bien signifier la nécessité d'une correction après qu'on s'est trompé la première fois que d'une vérification que l'on retrouve bien la même chose et que l'on n'a pas oublié un élément). Le chercheur relance alors l'élève pour tenter de lui faire préciser sa pensée avant d'en évaluer la portée.

8. Les élèves peuvent spontanément inviter l'enfant sceptique à essayer de reproduire l'expérience pour vérifier que "ça marche aussi". La classe est souvent proposée comme autre lieu d'expérimentation possible, distinct du Jardin des sciences ; mais toutes les variations sont recevables.

Enfin, une quatrième question les confronte à une situation liée à leur animation où l'affirmation d'un élève est contredite par l'expérience : il leur est alors proposé de ne rien dire pour des raisons affectives :

« Un copain te dit que [élément en lien avec l'activité travaillée en classe]. Quand tu vérifies, tu trouves que c'est [contradiction avec l'affirmation précédente]. Quand il revient, est-ce que tu lui dis qu'il s'est trompé ou est-ce que tu ne dis rien pour ne pas lui faire de la peine ? Il ne te croit pas ; que lui proposes-tu ? ».

Questions sur le rapport à l'expérience	Typologie des réponses	réponse	
		non signific.	significatives
Un enfant a seulement fait l'animation avec [élément avec paramètre indifférent] et il dit que qu'il n'a pas besoin d'essayer pour savoir que c'est pareil si on remplace [élément avec paramètre indifférent] par [élément avec variation du paramètre indifférent]. Que lui réponds-tu ?	ne sait pas	X	
	qu'il a raison	X	
	qu'il faut qu'il essaie pour savoir		X
	autre	X	
Il ne te croit pas, que lui proposes-tu ? ⁹	ne sait pas	X	
	je lui dis qu'il doit me croire	X	
	je lui propose d'essayer pour vérifier		X
	autre	X	
Un copain te dit que [élément en lien avec l'activité travaillée en classe]. Quand tu vérifies, tu trouves que c'est [contradiction avec l'affirmation précédente]. Quand il revient, est-ce que tu lui dis qu'il s'est trompé ou est-ce que tu ne dis rien pour ne pas lui faire de la peine ?	ne sait pas	X	
	je ne dis rien	X	
	je lui dis qu'il s'est trompé		X
	réponse spontanée je lui montre		X
	autre	X	
Il ne te croit pas, que lui proposes-tu ?	ne sait pas	X	
	d'essayer		X
	autre	X	

Tableau 1.2.4. : Grille de lecture des réponses au regard du rapport à l'expérience

1.2.5. Généralisation et formulation de lois

Le registre des généralisations est *a priori* assez limité à l'école maternelle, les élèves ne disposant ni de la capacité d'abstraction, ni des outils formels permettant de s'éloigner significativement des situations concrètes qu'on leur propose. Pour autant, ils sont parfois capable de les dépasser et de procéder à des généralisations, d'identifier des paramètres pertinents ou non, et d'énoncer des lois. C'est ce que l'on se propose de tester ici.

Suivant les activités réalisées en classe, trois types de questions sont proposés. Le premier type de questions invite l'élève à se positionner face à un visiteur qui généraliserait abusivement ; le deuxième teste sa capacité à évaluer la différence

9. Cette question vient à la suite de la question « Un enfant sur le jardin des sciences te dit que ce qu'il a fait marche sur le jardin des sciences parce que c'est un jardin des sciences mais que dans sa classe cela ne marchera pas. Que lui réponds-tu » évoquée dans le paragraphe 1.2.3.

de généralité entre deux formulations ; le troisième l'invite enfin à utiliser dans une situation nouvelle une généralité qu'il a préalablement formulée¹⁰.

Questions sur les généralisations	Typologie des réponses	réponse	
		non signif.	signif.
<i>Un enfant a juste fait l'animation avec [élément avec paramètre indifférent] et il dit qu'il n'a pas besoin d'essayer pour savoir que c'est pareil si on remplace [élément avec paramètre indifférent] par [élément avec variation du paramètre indifférent]. Que lui réponds-tu ?</i>	ne sait pas	X	
	qu'il a raison	X	
	qu'il faut qu'il essaie pour savoir		X
	autre	X	
<i>Est-ce que c'est différent pour toi de dire que [formulation d'une loi peu générale en lien avec le travail réalisé] et de dire [formulation plus générale en lien avec le travail réalisé] ?</i>	ne sait pas	X	
	non	X	
	oui sans justification		
	oui avec justifications incorrectes	X	
	oui, justification par différence de généralité		X
	autre	X	
<i>Comment pourrais-tu faire pour savoir [invitation à utiliser une loi connue avec un élément inconnu] ?</i>	ne sait pas	X	
	utilise la loi connue		X
	utilise la loi connue en précisant qu'il faut vérifier		X
	autre	X	
<i>Avais-tu déjà essayé avec [élément inconnu] ?</i>	ne sait pas	X	
	non	X	
	oui	rend caduque quest. suiv.	
<i>Comment sais-tu ce que tu as fait avec [élément connu] marche aussi [élément inconnu] ?</i>	ne sait pas	X	
	sais sans justification	X	
	ne sais pas de façon sûre, il faut essayer		X
	justifie par une analogie		X
	autre	X	

Tableau 1.2.5. : Grille de lecture des réponses au regard de la généralisation et de la formulation de lois

1.2.6. Représentations symboliques

Suivant les activités réalisées en classe, les questions portent sur des dessins dans lesquels certains éléments sont représentés de façon simplifiée ou/et comportant des indications manquantes ou erronées. Il est demandé aux enfants si ces représentations sont acceptables ou non et de justifier leur point de vue.

Navigation entre une représentation symbolique et le monde réel	Typologie des réponses	Interprétation en termes de navigation : réponse	
		non signific.	significatives
<i>Un enfant a dessiné [élément symbolisé]. Les [éléments] dessinés n'ont pas la même [forme, couleur, etc.] que ceux que tu as utilisés. Est-ce que c'est important ?</i>	ne sait pas	X	
	accepte une représentation simplifiée de la réalité		X
	justifie par l'expression des éléments pertinents		X

10. E. Blanquet & E. Picholle. « Faire et refaire : varier les paramètres d'une expérience pour formuler une loi robuste », in Amory, B. & Evrard T. (dir.), *Réveille-moi les sciences ! Apprendre les sciences de 2 1/2 à 14 ans*. Ed. De Boeck, 2012, pp. 45-55.

	autre	X	
Pourquoi ?	ne sait pas	X	
	parce que ce n'est pas grave	X	
	justifie par l'expression des éléments pertinents		X
	autre	X	
Qu'est-ce qui est important sur le dessin ?	ne sait pas	X	
	indique des éléments non pertinents	X	
	indique uniquement des éléments pertinents		X
	autre	X	
Avec le dessin, est-ce que tu peux prévoir [événement en lien avec le travail réalisé] ? Que manque-t-il ? Et sur ce dessin ?	ne sait pas	X	
	réponse correcte non justifiée	X	
	réponse correcte justifiée		X

Tableau 1.2.6. : Grille de lecture des réponses au regard de la navigation entre une représentation symbolique et le monde réel

7.1.3. PRATIQUES EXPERIMENTALES EN GS

L'analyse de pratiques expérimentales en GS s'appuie sur trois classes de Peymeinade ayant travaillé respectivement les séquences « Transvasements », « Se dissoudre ou pas » et « Sabliers ». ¹¹ Toutes ont participé au jardin des sciences de Peymeinade le 6 juin 2013. Les entretiens ont été réalisés la semaine du 18 au 21 juin 2013.

Le tableau 7.1.3. précise les éléments de scientificité travaillés dans chaque classe.

Élément de scientificité travaillé	classe Sabliers	classe Transvasements	classe Boule à neige
Primauté de l'expérience	X	X	X
Reproduction fréquente des expériences	X	X	X
Modification de paramètres indifférents		X	
Travail sur les représentations		X	
Travail sur les généralisations		X	

Tableau 7.1.3. : Tableau récapitulatif des éléments de scientificité travaillés dans chaque classe

1.3.1. Perception du travail réalisé en classe par les enseignants

Les enseignantes des classes sondées considèrent qu'elles ont fait des sciences avec leurs élèves. L'emploi du terme de *science* ne leur pose pas de difficulté particulière. La proposition de « sonder la compréhension de la méthodologie scientifique des élèves » n'a pas non plus soulevé de réserve.

Ce constat n'est pas anodin même s'il n'a aucun caractère de généralité. L'expérience montre que, lorsqu'on leur demande s'ils "font des sciences" en classe, de nombreux enseignants tendent à se réfugier derrière le programme qui, en cycles 1 et 2, ne parle pas de *science* mais de "découverte du monde".

11. Respectivement séquences M10 pp. 331-339, M14 pp. 357-361, et M06 pp. 309-314 du guide *Sciences à l'école, côté jardin* (Annexe 2.A.). Les classes sont présentées en section méthodologie § 4.2.2.3.

Par ailleurs, elles se disent curieuses des résultats de l'étude, une enseignante indiquant même qu'ils lui seront utiles pour identifier les contraintes à « clarifier » les années suivantes. Des discussions informelles après les entretiens indiquent que deux d'entre elles envisagent d'explicitier l'année scolaire prochaine les contraintes relatives à la reproductibilité et à la robustesse.

Toutes ont délibérément insisté sur la primauté de l'expérience et reproduit très souvent les expériences, en pleine conscience de la relation directe de ces compétences avec les critères de scientificité correspondants. L'une d'entre elles a en outre fait varier des paramètres indifférents. Pour autant, aucune n'a estimé nécessaire d'employer le terme de *science* avec les enfants.

Il semble donc que les enseignantes participant à l'étude distinguent spontanément le fait de « faire des sciences » avec leurs élèves — qu'elles paraissent pleinement assumer — et celui de leur « parler de science ».

Nous discuterons plus systématiquement le rapport des enseignants de maternelle aux critères de scientificité dans la section 7.4.

1.3.2. Positionnement des élèves de GS au regard des concepts sondés

1.3.2.1. Synthèse des réponses

L'objectif de la campagne d'entretiens est de tester l'appropriation par les élèves de GS d'éléments de méthodologie scientifique. Les questions posées et les classes de réponses fournies sont présentées sous forme de tableaux. Par commodité, nous les avons regroupées dans des tableaux spécifiques pour chaque élément sondé.

Perception des enjeux

Demandes de justification des expériences réalisées	Typologie des réponses	Nb d'entretiens où la réponse apparaît		
		Transv. (sur 11 gp.)	Neige (sur 12 gp.)	Sabliers (sur 12 gp.)
<i>Comment expliquerais-tu à un enfant qui ne connaît pas du tout le jardin des sciences ce que l'on y fait ?</i>	JDS = endroit où l'on s'amuse		1	5
	JDS = endroit où l'on « fait l'animateur » / où « l'on fait l'atelier animé »	4	6	2
	JDS = endroit où l'on fait des ateliers	5	9	10
	JDS = endroit où l'on apprend « des choses que l'on ne sait pas », où l'on essaie	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>5</u>
	JDS = endroit où l'on fait des expériences			<u>2</u>
	Ne sait pas	1		2
	Autre			2
<i>En partant de ton stand, un enfant te dit qu'il s'est bien amusé à [élément sans rapport avec l'objectif visé]. Qu'en penses-tu ?</i>	Content qu'il se soit amusé	1	8	5
	Déçu qu'il n'ait pas compris l'objectif de l'atelier	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>1</u>
	« Ce n'est pas bien de s'amuser » (n'a pas écouté, fait des bêtise)	1		6
	Autre / Ne sait pas	2	2	1
<i>Est-ce qu'il a compris ce que tu voulais faire ?</i>	Non, sans justification	7	2	12
	Non, énonce l'objectif visé par l'atelier spontanément	<u>1</u>		

	Oui	1	6	
	Autre	2	2	1
Que voulais-tu que tes visiteurs comprennent sur cet atelier ?	Ne sait pas	3		
	Réponse partielle	<u>2</u>	<u>7</u>	<u>6</u>
	Enonce l'objectif visé par l'atelier	<u>1</u>	<u>6</u>	<u>6</u>
	Autre	4	1	3

Tableau 1.3.2.1.a. : Synthèse des réponses des trois classes sondées au regard des demandes de justification des expériences réalisées. Les chiffres fournis indiquent le nombre d'entretiens dans lesquels apparaît la réponse-type considérée, ou un proche équivalent. Les réponses considérées comme significatives sont indiquées en gras surligné.

Remarques :

- Lorsque deux élèves d'un même groupe répondent la même chose, leur réponse n'est prise en compte qu'une seule fois.
- Il n'a pas toujours été possible de poser toutes les questions à tous les binômes d'une classe, certains résultats sont donc partiels. Ces précisions sont fournies dans les sections suivantes.

Paramétrisation

Questions sur la pertinence des paramètres considérés	Typologie des réponses	Nb d'entretiens où la réponse apparaît		
		Transv. (sur 11 gp.)	Neige (sur 12 gp.)	Sabliers (sur 12 gp.)
En classe/sur le jardin des sciences, vous avez changé le [paramètre indifférent dont la non pertinence a été vérifiée en classe] de l'élément x. Pourquoi ?	variation justifiée par la volonté de la maîtresse	1	X (question non adaptée)	
	variation justifiée par le plaisir d'essayer des choses différentes	2	X	
	variation justifiée par la volonté de voir si cela change qq. chose au résultat (« pour voir si c'est pareil »)	<u>5</u>	X	<u>2</u>
	Variation justifiée par une utilisation spécifique sur l'atelier		X	11
	Ne sait pas	3	X	2
Est-ce que cela change qq chose si pour l'expérience au lieu de prendre x [élément contenant un paramètre non pertinent travaillé en classe] on prend y [élément avec une variation du paramètre non pertinent travaillé en classe] ?	cela ne change rien, identification du paramètre comme non pertinent	<u>11</u>	X	X
Comment le sais-tu ?	“Je le sais parce qu'on a essayé.”	<u>7</u>	X	X
	Appel à une généralité	<u>3</u>	X	X
	Autre	1	X	X
Est-ce que c'est important de vérifier ?	oui, justification de type “sinon on ne peut pas savoir”	<u>9</u>	X	X
A quoi cela sert-il d'essayer avec des [éléments dont un paramètre non pertinent connu varie] différents ?	ne sait pas	1	X	X
	pour voir si cela change quelque chose au résultat	<u>5</u>	X	X
Est-ce que tu as changé d'autres choses en classe pour voir si cela changeait le résultat ?	ne sait pas	7	X	X
	identification par l'élève d'autres paramètres qui ne changent pas le résultat	<u>3</u>	X	X
Est-ce que cela change qq chose si au lieu d'utiliser [élément avec un paramètre indifférent non travaillé en classe] on prend [autre élément avec une variation de ce paramètre indifférent non travaillé en classe] ?	non, identification par l'élève d'un nouveau paramètre qui ne change pas le résultat	<u>11</u>	<u>10</u> (pot) / <u>6</u> (eau colorée) / <u>10</u> (gomme)	<u>12</u> (polenta, sel) / <u>11</u> (bouteille colorée)
	oui, identification par l'élève d'un paramètre pertinent		<u>4</u> (eau colorée, on ne voit pas bien) / <u>1</u> (gomme)	<u>1</u> (bouteille colorée)

classe] ?	oui		<u>4</u> (pot) / <u>2</u> (eau colorée) / <u>1</u> (gomme)	
	suggère qu'il faut essayer pour être sûr		<u>4</u> (pot) / <u>5</u> (eau colorée) / <u>3</u> (gomme)	<u>2</u> (bouteille colorée)
Comment le sais-tu ?	s'appuie sur une généralité pour justifier	<u>11</u>	<u>6</u> (pot) / <u>3</u> (eau colorée) / <u>7</u> (gomme)	<u>7</u> (polenta, sel)
	il faut essayer (pour être sûr, pour savoir)	<u>2</u> (question non reposée, rép. spontanées)	<u>12</u> (pot)	<u>11</u> (polenta, sel) / <u>11</u> (bouteille colorée)
	autre		3 (dont une justif. « fait chez moi »)	1 (« on a juste réfléchi »)
Est-ce que c'est important de vérifier ?	non « parce qu'on sait », appel à une généralité	3		
	non			2
	oui sans justification	2	2	
	oui, pour savoir		<u>6</u>	<u>6</u>
	oui, pour être sûr, parce que l'on peut se tromper		<u>4</u>	<u>3</u>
Est-il utile de changer des choses pour voir si cela change le résultat ?	non	3	6	2
	oui sans justification pertinente		4	
	oui pour voir ce qui se passe	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
	oui pour vérifier que cela ne change vraiment pas			<u>2</u>

Tableau 1.3.2.1.b. : Synthèse des réponses des trois classes sondées au regard de la pertinence des paramètres considérés (mêmes conventions que tableau 1.3.2.1.a)

Rapport à l'expérience

Questions sur le rapport à l'expérience	Typologie des réponses	Nb d'entretiens où la réponse apparaît		
		Transv (sur 11 gp.)	Neige (sur 12 gp.)	Sabliers (sur 12 gp.)
Un enfant a juste fait l'animation avec [élément avec paramètre indifférent] et il dit que qu'il n'a pas besoin d'essayer pour savoir que c'est pareil si on remplace [élément avec paramètre indifférent] par [élément avec variation du paramètre indifférent]. Que lui réponds-tu ?	qu'il a raison	1	X (question non adaptée)	1
	qu'il faut qu'il essaie pour savoir	<u>10</u>	X	<u>10</u>
	autre		X	1
[Un enfant sur le jardin des sciences te dit que ce qu'il a fait marche sur le jardin des sciences parce que c'est un jardin des sciences mais que dans sa classe cela ne marchera pas. Que lui réponds-tu ?] Il ne te croit pas, que lui proposes-tu ?	ne sait pas	1		1
	je lui dis qu'il doit me croire			1
	je lui propose d'essayer pour vérifier	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>9</u>
	autre		1 (« je le laisse tranquille, tant pis »)	
Un enfant te dit que [élément en lien avec l'activité travaillée en classe]. Quand tu vérifies, tu trouves que c'est [contradiction avec l'affirmation précédente]. Quand il revient, est-ce que tu lui dis qu'il s'est trompé ou est-ce que tu ne dis rien pour ne pas lui faire de la peine ?	je ne dis rien		6	2
	je lui dis qu'il s'est trompé	<u>9</u>	<u>9</u>	<u>9</u>
	réponse spontanée je lui propose d'essayer	<u>2</u>		<u>3</u>
Il ne te croit pas, que lui proposes-tu ?	ne sait pas	1	1	2
	d'essayer	<u>8</u>	<u>5</u>	<u>9</u>
	Je lui montre		<u>5</u>	
	autre		<u>1</u> (je lui dis « il y a une autre façon de faire de la neige »)	1 (« il faut nous croire »)

Tableau 1.3.2.1.c. Synthèse des réponses des trois classes sondées au regard du rapport à l'expérience (mêmes conventions que tableau 1.3.2.1.a)

Reproductibilité

Test de la reproductibilité des expériences réalisées	Typologie des réponses	Nb d'entretiens où la réponse apparaît		
		Transv. (11 gp.)	Neige (12 gp.)	Sabliers (12 gp.)
Deux enfants différents font la même chose sur ton atelier, est-ce qu'ils peuvent trouver des choses différentes ?	ne sait pas		3	2
	oui	3	2	4
	non, sans justification	<u>8</u>	<u>5</u>	<u>1</u>
	non, si on fait la même chose, on trouve la même chose		<u>4</u>	<u>7</u>
	autre	1		2
Ils te disent qu'ils trouvent des choses différentes : que fais-tu ?	ne sait pas	3		
	je dis qu'ils se sont trompés		<u>1</u>	<u>2</u>
	demande qu'ils refassent		<u>1</u>	<u>2</u>
	autre	1		1
Un enfant sur le jardin des sciences te dit que ce qu'il a fait marche sur le jardin des sciences parce que c'est un jardin des sciences mais que dans sa classe cela ne marchera pas. Que lui réponds-tu ?	affirmation "c'est pareil"	<u>2</u>	<u>5</u>	
	affirmation "c'est pareil, je l'ai fait en classe."			<u>3</u>
	proposition "c'est pareil, c'est obligé/ cela marche partout"	<u>7</u>	<u>5</u>	<u>8</u>
	Autre	1 (cherche une explication)		<u>1</u> (« il faut nous croire »)
	ne sait pas		1	2
A quoi cela sert-il de refaire plusieurs fois la même chose d'après toi ? Cela sert-il à quelque chose de refaire plusieurs fois la même chose d'après toi ?	on refait "pour savoir"	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>
	"ne sert à rien"	5	2	8
	on refait "pour mieux retenir"	1	5	1
	on refait "pour ne pas se tromper"		2	3
	on refait "pour être plus sûr"		<u>2</u>	<u>1</u>

Tableau 1.3.2.1.d. : Synthèse des réponses des trois classes sondées au regard du concept de reproductibilité des expériences (mêmes conventions que tableau 1.3.2.1.a)

Généralisation et formulation de lois

Questions sur les généralisations	Typologie des réponses	Nb d'entretiens où la réponse apparaît		
		Transv. (11 gp.)	Neige (12 gp.)	Sabliers (sur 12 gp.)
Un enfant a juste fait l'animation avec [élément avec paramètre indifférent] et il dit que qu'il n'a pas besoin d'essayer pour savoir que c'est pareil si on remplace [élément avec paramètre indifférent] par [élément avec variation du paramètre indifférent]. Que lui réponds-tu ?	qu'il a raison, c'est pareil	<u>1</u>	X (quest. non adapt.)	
	qu'il faut qu'il essaie pour savoir	10	X	10
	autre		X	1
Est-ce que c'est différent pour toi de dire que [formulation d'une loi peu générale en lien avec le travail réalisé] et de dire [formulation plus générale en lien avec le travail réalisé] ?	non	1	X (quest. non adapt.)	2
	oui sans justification	6	X	
	oui avec justifications incorrectes		X	9
Avais-tu déjà essayé avec [élément inconnu] ? Comment sais-tu ce que tu as fait avec [élément connu] marche aussi [élément inconnu] ?	sait sans justification			1
	ne sait pas de façon sûre, il faut essayer		4	11
	justifie par une analogie	<u>4</u> (lentilles)		<u>3</u> (polenta)
	Justifie à l'aide d'une généralité	<u>10</u> (pot)	<u>7</u> (pot)	<u>7</u> (polenta)

Tableau 1.3.2.1.e. : Synthèse des réponses des trois classes sondées au regard de la généralisation et de la formulation de lois (mêmes conventions que tableau 1.3.2.1.a)

Représentations symboliques

Navigation entre une représentation symbolique et le monde réel	Typologie des réponses	Interprétation en termes de navigation : réponse		
		Transv. (11 gp.)	Neige (12 gp.)	Sabliers (sur 12 gp.)
Un enfant a dessiné [élément symbolisé]. Les [éléments] dessinés n'ont pas la même [forme, couleur, etc.] que ceux que tu as utilisé. Est-ce que c'est quand même [élément symbolisé] ?	non, cela ne va pas	X	9	1
	accepte une représentation simplifiée de la réalité	X	<u>6</u>	<u>10</u>
Pourquoi ?	ne sait pas	X		
	parce que ce n'est pas grave	X		<u>10</u> (forme sablier)
	justifie par l'expression des éléments pertinents	X	<u>1</u>	<u>10</u> (couleur du trait)
	justifie en considérant que ce ne sont pas des éléments pertinents	X	3	
Qu'est-ce qui est important sur le dessin ?	identifie et nomme l'élément représenté	X	X	<u>10</u>
Avec le dessin, est-ce que tu peux prévoir [événement en lien avec le travail réalisé] ? Que manque-t-il ?	réponse correcte justifiée	X	X	<u>8</u> (nature du matériau utilisé)

Tableau 1.3.2.1.f. : Synthèse des réponses des trois classes sondées au regard des représentations symboliques (mêmes conventions que tableau 1.3.2.1.a)

1.3.2.2. Perception du jardin des sciences

Le nom même du « Jardin des sciences » fait appel à une notion encore très nouvelle pour les petits de maternelle. Lorsqu'on leur demande d'élucider ce qu'est pour eux un jardin "des sciences", ils s'avèrent peu prolixes et des difficultés apparaissent.

Pour eux, c'est essentiellement un endroit où l'on « anime » et où l'on fait des « activités » (24 gp./35, soit 68%), ce qui paraît être une reprise d'un vocabulaire communément utilisé en classe.

Seuls 9 groupes sur 35 considèrent que l'on y « apprend des choses » (en essayant) ou que l'on y « fait des expériences ». 7 de ces groupes appartiennent à la classe « sabliers » dont, suite à l'envoi du questionnaire pour relecture, la maîtresse a discuté avec les élèves de cette question. On note également dans cette classe des réponses plus nombreuses (24 contre 17 pour la classe « boule à neige » et 10 pour la classe « transvasements »).

Deux élèves y utilisent l'expression « faire des expériences » : pour l'un, faire une expérience, c'est « essayer » alors que l'autre est incapable d'expliquer ce qu'il entend par là. Une élève indique par ailleurs que c'est un endroit où l'on fait des sciences et, interrogée sur ce que signifie le mot science, indique que « c'est comme des énigmes ».

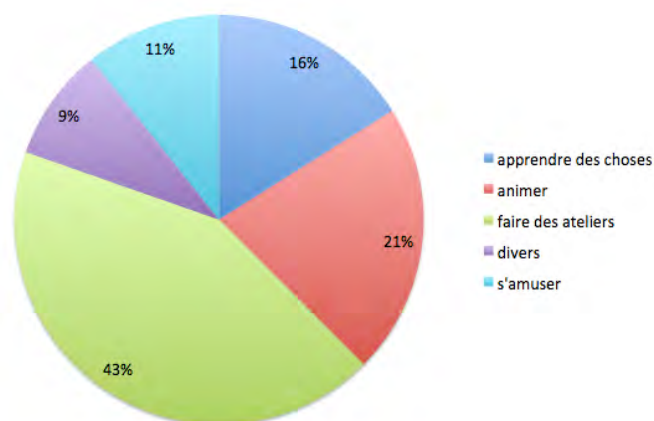


Figure 1.3.2.2. : Distribution des réponses fournies en pourcentage à la question
« comment expliquerais-tu ce qu'est un jardin des sciences ? »

Les spécificités du jardin des sciences ne sont pas aisément exprimées par les élèves

1.3.2.3. Perception de l'objectif de l'atelier

Les jeunes animateurs du jardin des sciences sont confrontés à l'hypothèse d'un visiteur qui n'aurait vu qu'un jeu dans les manipulations de leur atelier. Seulement 5 groupes sur 35 réagissent en se plaçant du point de vue de l'objectif de leur atelier.

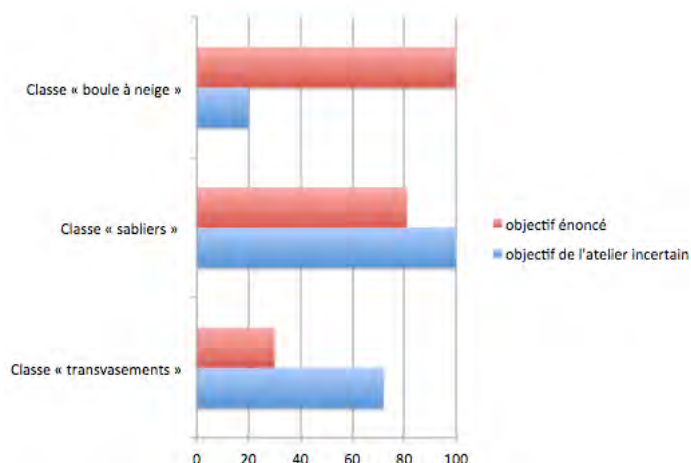
Les élèves de la classe « transvasements » s'expriment peu (6 gp./11) et de façon plutôt neutre. Ceux de la classe « boule à neige » sont globalement contents d'apprendre que les élèves visiteurs se sont amusés à verser des choses dans l'eau (8 gp./11).

Ceux de la classe « sabliers » se partagent principalement entre ceux qui sont heureux que leurs visiteurs se soient amusés (5 gp./12) et ceux qui estiment (6 gp./12) que « *ce n'est pas bien* » parce qu'ils « *vont mettre du sable partout* », alors qu'aucune indication en ce sens ne semble avoir été fournie. Dans cette même classe, tous les groupes considèrent cependant que de tels élèves visiteurs n'auraient pas compris l'objectif de leur atelier. A l'exception de 4 élèves (3 gp.), ils sont capables de l'expliquer de façon partielle (6 gp.) :

e.g. : « Fabriquer un sablier »

ou plus complète (6 gp.) :

e.g. : « Apprendre à mesurer le temps »
« A quoi sert un sablier »
« Comment on se sert d'un sablier ».



L'appropriation des objectifs de l'expérience dépend fortement de la classe considérée

Figure 1.3.2.3. : Pourcentage par classe des groupes énonçant partiellement ou de façon complète l'objectif de leur atelier (rouge) et des groupes considérant qu'un élève-visiteur n'a pas compris l'objectif de son atelier (bleu)

Dans la classe « boule à neige », seuls deux groupes considèrent que des élèves qui se seraient simplement amusés à verser des choses dans l'eau n'auraient pas compris l'objectif de leur atelier. En revanche, lorsqu'on leur demande quel était cet objectif, tous les élèves sont capables d'en exprimer au moins un : 5 groupes l'identifient précisément (trouver le matériau permettant de simuler la neige qui tombe) ; les sept autres restent focalisés sur l'objectif général de fabriquer une boule à neige.

Les élèves de la classe « transvasements » ont quant à eux de grandes difficultés à énoncer l'objectif de leur atelier, même partiellement (3 gp. /11) mais 8 groupes sur 11 considèrent que des visiteurs heureux d'avoir versé de l'eau d'un récipient à l'autre n'ont pas compris ce qu'ils voulaient faire. Il faut cependant noter que l'expression de l'objectif y est plus difficile que dans les autres classes interrogées (où l'atelier incluait la fabrication d'un objet).

De nombreux élèves de GS s'avèrent capables d'exprimer l'objectif de leur expérience, mais cette compétence dépend du travail effectué en classe.

1.3.2.4. Paramétrisation

Classe « transvasements »

La robustesse est l'un des éléments de scientificité sur lesquels l'enseignante a choisi de travailler. Les élèves ont travaillé en classe avec des eaux colorées par des encres de couleurs diverses (rouge, jaune, verte, etc.) et avec des récipients de formes diverses (larges, étroits etc.). Pour transvaser, ils ont utilisés trois lots de récipients différents (petits pots "bébé" en verre, bouteilles et pots en plastique), chaque lot comprenant trois récipients identiques.

Sondés sur l'intérêt d'utiliser des couleurs d'eau différentes, cinq groupes sur onze identifient un test de la robustesse de l'expérience (e.g. « *pour savoir si c'est pareil* »). Ces mêmes groupes répondent de la même façon lorsqu'on leur demande à quoi sert d'essayer avec différents types de liquides.

Sollicités pour trouver d'autres éléments qui ne modifient pas la procédure pour comparer le volume contenu dans des récipients différents, deux élèves proposent la semoule, le sel ou le sable et un autre élève la forme des

contenants-étalons. Un seul de ces groupes considère que d'une façon générale, « *c'est utile de changer des choses pour voir ce qui se passe* ».

Les élèves sont questionnés sur l'impact de la forme et de la couleur de contenants-étalons différents. Tous insistent sur la nécessité d'avoir les « *trois mêmes pots* », la couleur n'étant pas considérée comme un paramètre pertinent. Interrogés sur la procédure pour évaluer la quantité de lentilles dans deux bacs de largeur différente, ils appliquent la même procédure que pour l'eau, à l'exception d'un groupe qui, dans un premier temps, propose de compter les lentilles pour comparer les quantités.

Classe « sabliers »

L'enseignante n'a pas travaillé spécifiquement sur la robustesse et l'influence de paramètres indifférents. Néanmoins, en classe, les enfants ont utilisé du sable vert à gros grains et du gravier blanc fin. Il se trouve que, par un heureux hasard, une même quantité de chacun des matériaux prenait sensiblement le même temps pour couler. La maîtresse a exploité cette particularité sur l'animation en utilisant le sablier avec du gravier blanc comme référence pour un défi où il s'agissait de fabriquer des sabliers avec du sable vert devant s'arrêter de couler avant lui.

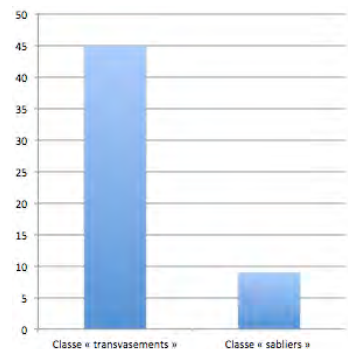
L'utilisation de sables de couleurs différentes est associée par onze groupes sur douze à une fonction spécifique sur l'atelier, le plus souvent très concrète (e.g. « *le gris c'est pour le sablier témoin, le vert c'est pour ranger dans l'ordre* »¹²), un groupe ne sachant pas à quoi cela sert.

Deux élèves seulement expriment que cela a aussi un intérêt d'ordre méthodologique. Un premier indique que cela sert à « *voir si cela marche pareil* » et une seconde élève, très souvent absente mais considérée comme très vive par la maîtresse, émet l'idée que c'est pour étudier l'impact de « *l'épaisseur* » du sable sur la vitesse d'écoulement.

Questionnés sur la possibilité de remplacer le sable par de la polenta ou du sel, tous les groupes s'accordent à dire que c'est possible. Tous les groupes sauf un, qui estime que ce n'est pas utile, s'accordent également sur la nécessité d'essayer pour s'en assurer. En ce qui concerne la possibilité d'utiliser des bouteilles colorées pour fabriquer le sablier, ils en sont d'accord après qu'on les a assurés que l'on pouvait voir à travers. Ils estiment alors qu'il faut essayer pour savoir.

La perception de l'utilité de tester la robustesse de l'expérience dépend fortement de la classe considéré

Figure 1.3.2.4.a. : Pourcentage par classe des groupes considérant que modifier un paramètre indifférent connu est utile « pour voir si c'est pareil » (à gauche classe « transvasements », à droite classe « sabliers »)



12. Alexandre, cinq ans et demi, lors de entretien. Trois sabliers remplis de sable vert étaient utilisés sur l'atelier pour associer la durée d'écoulement à la quantité de sable. Le sablier avec du sable gris servait de sablier de référence pour les visiteurs. L'objet de l'atelier était de fabriquer un sablier qui prenne moins de temps que le sablier de référence pour s'arrêter de couler.

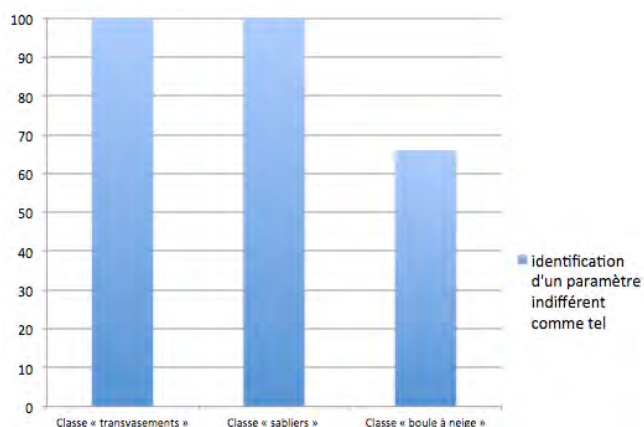
Classe « boule à neige »

Aucun travail portant sur la variation de paramètres n'ayant été réalisé en classe, seules les questions portant sur la variation d'un paramètre indifférent non travaillé en classe ont été posées.

Quatre élèves (4 gp. sur 12) considèrent qu'on ne peut pas utiliser les pots présentés (pot à confiture et pot "bébé" haut) pour faire une boule à neige ; tous les autres s'accordent pour dire que c'est possible.

L'eau colorée, transparente, est présentée aux élèves dans un pot. La moitié des groupes refuse d'utiliser de l'eau colorée à cause de la couleur que la neige pourrait prendre ou parce qu'ils estiment que l'on ne verrait pas bien alors que pour l'autre moitié, la couleur de l'eau ne change rien.

Pour la question portant sur la couleur de la gomme, les objections sont liées au fait qu'il n'existe pas de neige bleue mais, si l'on accepte cette idée et que l'on se focalise sur la descente de la gomme bleue rapée (suggestion faite lors de l'entretien), une grande majorité indique qu'il se passera la même chose (10 cgp.) en justifiant par la matière utilisée (7 gp.)



Une grande majorité des élèves identifie correctement un paramètre indifférent

Figure 1.3.2.4.b. : Pourcentage par classe des groupes identifiant comme tel un nouveau paramètre indifférent

La plupart des élèves de GS s'avèrent capables d'identifier correctement un paramètre indifférent comme tel.

L'utilité de reproduire l'expérience en faisant varier un paramètre indifférent n'est en revanche perçue qu'après un travail spécifique en classe, et par moins de la moitié des élèves concernés.

1.3.2.5. Rapport à l'expérience

Confrontés à l'hypothèse où un élève affirmerait une chose contraire à leur expérience, tous les élèves de la classe « transvasements » accordent la primauté à l'expérience et huit groupes sur onze proposent qu'il essaie pour savoir.

Dans la classe « sabliers », vingt élèves sur vingt-deux accordent la primauté à l'expérience. Seule une élève décide de ne rien dire à l'élève qui se trompe. Une autre préfère ne rien lui dire, mais propose une réponse alternative intégrant la primauté de l'expérience :

Sinon, on lui dit, ce n'est pas grave, tu ne pouvais pas savoir, tu n'as pas essayé.

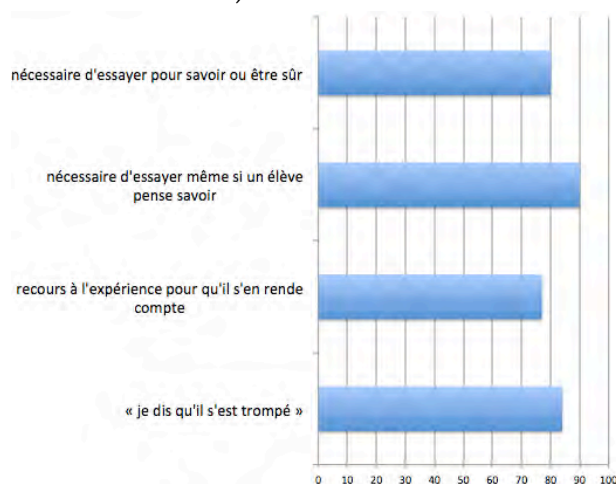
Dans la classe « boule de neige », neuf enfants (6 gp.) sur vingt-huit choisissent de ne pas dire à un camarade qu'il s'est trompé.

En tout, cinquante-sept élèves sur soixante-huit (84%) préféreraient dire à un élève qu'il s'est trompé plutôt que de ne rien dire pour des raisons affectives. Vingt-sept groupes sur trente-cinq (77%) envisagent un recours à l'expérience pour le convaincre et un seul a recours à l'autorité.

Face à un élève qui affirme sans preuve qu'un paramètre est non pertinent, vingt groupes sur vingt-deux (90%) lui demanderaient d'essayer, même si eux-mêmes l'ont déjà reconnu pour tel.

La thématique de l'atelier n'a pas permis de poser cette question aux élèves de la classe « boule à neige ». Néanmoins, à deux exceptions près (un élève qui ne sait pas et un autre qui pense qu'il faut « *essayer pour faire des activités* »), la quasi-totalité des élèves estiment qu'il est important d'essayer pour savoir ou pour être sûr que l'on ne s'est pas trompé quand on manipule un objet (pot) pour la première fois.

Plus généralement, vingt-huit groupes sur trente-cinq (80%) estiment qu'il est important d'essayer pour savoir ou pour être sûr (question posée lors du test de la robustesse).



Une grande majorité des élèves (> 80%) revendique la primauté de l'expérience

Figure 1.3.2.5. : Pourcentages des élèves et groupes donnant la primauté à l'expérience dans différentes situations (résultats cumulés sur les trois classes)

Les résultats sont légèrement moins positifs lorsqu'il s'agit de réagir face à un enfant qui croit que ce qui a été fait sur le jardin des sciences n'est pas reproductible dans sa classe : 64% lui proposent d'essayer (soit 20 gp. sur les 31 ayant répondu à la question).

Enfin, dans la classe « sabliers », les élèves insistent énormément sur le fait que sans essayer on ne peut pas savoir, quelles que soient les questions posées. Cela se ressent en particulier sur la question précédente où, spontanément, sept groupes sur douze proposent à l'enfant sceptique d'essayer (« *Tu n'as qu'à demander à ta maîtresse pour le faire dans ta classe et tu vas voir* »).

Quand les enseignants insistent explicitement sur l'importance d'essayer pour savoir, les élèves s'approprient massivement cette idée.

Dans la situation où un élève leur proposerait de s'en passer, ils refusent très majoritairement. Ils donnent de même la primauté à l'expérience sur une affirmation infirmée par l'expérience.

1.3.2.6. Reproductibilité des expériences

Dans toutes les classes, les élèves sont très majoritairement convaincus (30 gp./34, soit 88%) que changer de lieu ne modifierait pas le résultat de leur expérience (9 gp./10 classe « transvasements », 10 gp./12 classe « boule à neige », 11 gp./12 classe « sabliers »). Deux enfants précisent même que « *ça marche partout, c'est pas magique* ».

La question portant sur la possibilité que des élèves différents faisant la même chose sur l'atelier puissent trouver des résultats différents s'est avérée souvent mal comprise par les élèves. Après une première reformulation (ils font « *tout de la même façon, tout pareil* »), en cas d'échec, on fournit un exemple précis basé sur ce que les élèves ont fait en classe et dans l'atelier pour qu'ils la comprennent. 62 % des élèves répondent alors correctement à la question : dix élèves de la classe « boule à neige », neuf de la classe « sabliers » et sept de la classe « transvasements » (soit 26/68, ou 38%) ne savent pas ou pensent que des enfants différents peuvent trouver des choses différentes en faisant la même chose.

Seuls quelques élèves des groupes qui comprennent immédiatement la question sont interrogés sur la suite de la question : à l'exception de quatre d'entre eux, ils ne sauraient pas quoi répondre à un enfant qui affirmerait avoir fait la même chose qu'un autre mais trouvé des résultats différents.

L'intérêt pour une même personne de reproduire plusieurs fois la même expérience n'est le plus souvent pas perçu : seuls neuf groupes sur trente-deux (28%) en proposent des justifications pertinentes.

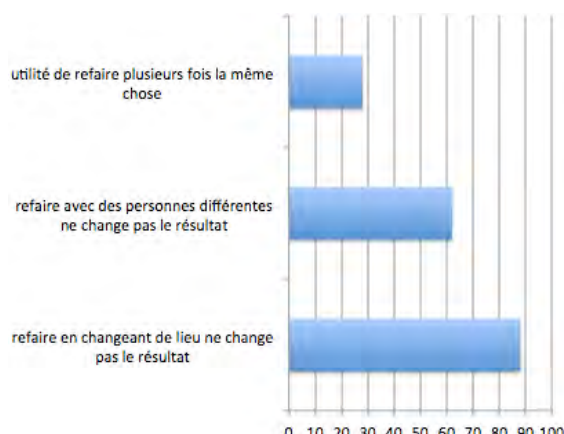


Figure 1.3.2.6. : Rapport des élèves à différents aspects de la reproductibilité (résultats cumulés sur les trois classes)

Un peu plus de la moitié des élèves est convaincue que « quand la même personne ou des personnes différentes font la même chose, elles trouvent la même chose », sans travail spécifique des enseignants sur la question.

Une grande majorité des élèves est convaincue que changer de lieu n'a pas d'impact sur le résultat de leurs expériences.

L'utilité de reproduire soi-même une expérience dans les mêmes conditions n'est en revanche perçue que par quelques élèves dans les classes sondées.

1.3.2.7. Généralisation et formulation de lois

Classe « transvasements »

Tous les groupes interrogés (10) ont construit l'idée que pour comparer des volumes, il faut utiliser « *trois mêmes pots* » / « *trois pots pareils* ». Le mot « volume » n'est pas dans leur vocabulaire ; aussi, confrontés à des pots de même volume mais de couleur différente, considèrent-ils que « *c'est les mêmes quand même* » sans être en mesure d'explicitier plus avant ce concept.

Trois groupes justifient le fait que l'on puisse faire varier la couleur de l'eau sans que cela change le résultat par le fait que « *c'est toujours de l'eau* » ; interrogé sur la possibilité d'utiliser du lait, l'élève d'un quatrième groupe indique que « *si c'est pareil avec de l'eau jaune, hé ben c'est aussi pareil avec du lait* ».

Deux groupes justifient par leur petite taille la possibilité d'utiliser avec des lentilles la même procédure établie avec de l'eau ; deux autres groupes la justifient par la possibilité pour les lentilles de « couler » comme de l'eau.¹³ Les autres groupes transvasent ou proposent spontanément de le faire quand il n'y a pas de temps disponible pour l'expérimentation.

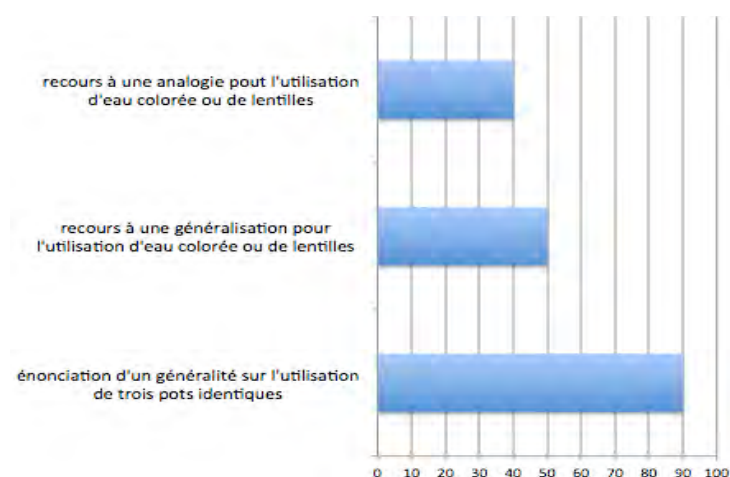


Figure 1.3.2.7. :
Pourcentages des groupes énonçant des généralités ou des analogies pour justifier l'invariance des résultats suite à une modification d'un élément

En revanche, même si la plupart des élèves perçoivent la nuance entre les mots *bouteille* et *réceptient*, ils s'avèrent incapables d'en identifier la différence de généralité.

Classe « sabliers »

Sept groupes justifient la possibilité d'utiliser de la polenta à la place du sable en généralisant une propriété des matériaux utilisés en classe : c'est petit, c'est fin, cela a la même taille que le sable, ce sont des « mini-grains », cela peut couler. Trois groupes sont dans l'analogie (e.g. « *on dirait que ça fait du sable vert* »).

13. La notion de liquide n'est pas connue en GS. Les programmes ne l'introduisent qu'en cycle 2 et le vocabulaire doit être maîtrisé au CE2. La notion de volume apparaît au CM2, la mesure d'une capacité (litre) est introduite en CE2, celle de contenance en CM1 (programme de mathématiques).

La distinction entre sable et grain dans le test de la compréhension d'une différence de généralité est mal comprise par neuf groupes, deux autres groupes ne voyant pas de différence. Pour la plupart des groupes, il s'agit d'une différence de taille des grains entre le sable et les « grains ».

La capacité des élèves à formuler des généralités n'a pas été testée à proprement parler avec la classe « boules à neige », la séquence travaillée s'y prêtant mal. Néanmoins, lorsqu'on propose aux élèves de remplacer le pot utilisé pour la boule à neige par d'autres, les élèves de 7 groupes sur 12 affirment que cela fonctionne avec tous les pots et que la forme n'a pas d'importance. Un élève précise que « *ce n'est pas la forme qui compte, c'est la neige* ».

Une proportion significative d'élèves de Grande Section de maternelle sont capables de formuler des généralisations et des lois.

1.3.2.8. Représentation symbolique

Pour la classe « sabliers », dix-sept élèves sur vingt-deux (77%) ont réagi très favorablement à des représentations très stylisées du sablier (illustration 1.3.3.8.a.). Une forme triangulaire du sablier plutôt que des bouteilles ne pose pas de problème. Le trait est identifié comme représentant le niveau de sable et sa couleur, différente de celle de la matière à l'intérieur, ne pose pas problème aux élèves. La représentation du trou du sablier par des traits verticaux ne pose pas plus de difficulté.

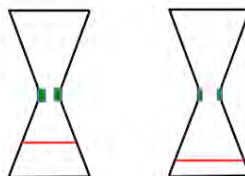


Illustration 1.3.2.8.a. : Exemple de sabliers stylisés présentés aux élèves

Pour la classe « boule à neige », où des photos ont été utilisées pour le travail, seuls sept enfants sur vingt-huit (6 gp., 25%) considèrent non problématique de dessiner une boule à neige de forme « carrée » plutôt que ronde (forme de la boule à neige commerciale utilisée en classe) alors même que les petits pots « bébé » utilisés en classe seraient plus proches de cette représentation.

Dans la classe « transvasements », c'est l'enseignante qui s'est chargée de sonder les élèves, à partir d'un support fourni par le chercheur (illustration 1.3.3.8.b.) la semaine suivant l'entretien. 95% des élèves (20/21) acceptent que des dessins stylisés de récipients sous forme de parallélépipèdes puissent représenter des pots. 76% (16/21) considèrent qu'ils peuvent représenter les pots cylindriques présents sur la table devant eux. Parmi ces derniers, ils sont 93% (15/16) à associer correctement les pots réels et leurs représentations.

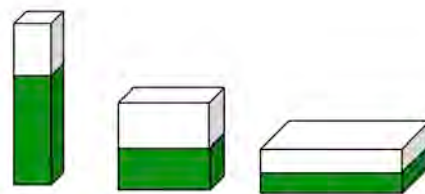


Illustration 1.3.2.8.b. : Exemple de dessins de récipients stylisés présentés aux élèves

76% des élèves (16/21) sont d'accord pour représenter des pots remplis d'eau (incolore) par des rectangles dont une partie était colorée en vert, les cinq autres élèves expliquant que c'est possible pour représenter de l'eau colorée ou avec de l'encre. 90% (19/21) sont capables de montrer le niveau de l'eau sur les dessins.

Lorsqu'on leur propose des dessins de rectangle où un simple trait représente le niveau du liquide, ils sont 90% à accepter que ces dessins représentent un récipient avec de l'eau. La même proportion indique sans difficulté son niveau sur le dessin.

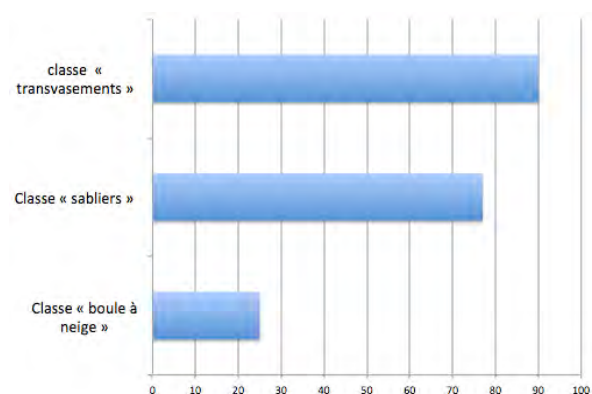


Figure 1.3.2.8.c. : Pourcentages d'élèves par classe acceptant une représentation simplifiée du matériel utilisé

La plupart des élèves de GS sondés s'avèrent capables de faire le lien entre des objets et leur représentation graphique.

7.1.4. QUELQUES ELEMENTS DE SCIENTIFICITE ACCESSIBLES EN GS

Les compétences ainsi mises en évidence sont autant de conditions nécessaires à l'appropriation d'éléments de base de la méthodologie scientifique. Peut-on en déduire que les éléments de scientificité correspondants sont accessibles, au moins de façon élémentaire, à des élèves de grande section de maternelle ?

1.4.1. Opportunité

Beaucoup d'élèves de grande section sondés ne considèrent pas les expériences qu'ils ont réalisées comme un simple amusement. Ils les justifient par des arguments qui dépassent le simple plaisir de « faire pour faire ».

Un second seuil est franchi par environ la moitié des élèves, qui s'avèrent capables d'identifier correctement et dans une certaine mesure d'exprimer leur objectif de base.

Ces compétences apparaissent révélatrices de la capacité d'élèves de Grande Section à s'approprier des éléments de méthodologie associés à l'opportunité d'une expérience, sous réserve d'un travail spécifique approprié.

1.4.2. Primauté de l'expérience

« Il faut toujours essayer pour voir, parce que sinon on ne sait pas »
Mélina, 6 ans¹⁴

Les élèves accordent massivement la primauté au résultat d'une expérience sur ce qui peut être dit par un camarade. Ils revendiquent également la nécessité d'essayer même quand on pense connaître d'avance un résultat. Ils posent donc l'expérimentation comme une condition nécessaire pour accéder au savoir, dans le cadre de ce qui a été fait dans la classe et sur le jardin des sciences et suite à un travail explicite des enseignants sur cette idée.

La situation est toutefois plus ambiguë lorsque la dissonance provient d'une figure d'autorité, comme leur enseignant.

Ces comportements caractérisent une première appropriation du concept de primauté de l'expérience.

Dans la mesure où ils n'apparaissent pas spontanément en l'absence d'un travail spécifique en démarche d'investigation en classe,¹⁵ l'efficacité de celui-ci semble donc avérée.

Bien que cela n'ait pas été documenté en Grande Section dans cette étude,¹⁶ il semble donc envisageable de distinguer dès ce niveau les disciplines associées sinon à la science, du moins à la découverte du monde et pour lesquelles, pour savoir, "on essaie", de celles comme les apprentissages du langage ou du "vivre ensemble" pour lesquelles la primauté est donnée à une norme d'autorité, ce qui pourrait constituer un premier contact avec la notion de scientificité.

Ces compétences sont-elles accessibles avant la GS ? L'expérience suggère que des élèves de moyenne section (4-5 ans) sont également capables de donner la primauté à l'expérience quand l'enseignant a insisté en classe sur le besoin d'essayer pour savoir¹⁷. Toutefois, nous n'avons pas précisément documenté le rapport de plus jeunes élèves à la primauté de l'expérience.

14. Entretien réalisé dans la classe « sabliers » de M^{me} Pradel. C'est nous qui soulignons.

15. Nous n'avons pas eu l'occasion de l'établir avec une classe-témoin de GS dont l'enseignant n'aurait pas été sensibilisé à ces questions. Toutefois, ce comportement n'existait pas en amont du travail dans la classe « boule à neige » (cf. *supra*, § 7.1.3.1.3.). Par ailleurs, il est généralement admis par les enseignants que les élèves de maternelle n'éprouvent pas spontanément le besoin de vérifier leurs affirmations.

16. Des éléments en ce sens ont en revanche été recueillis auprès d'élèves de cycle 2. cf. *infra*, § 7.5.

17. Observations réalisées par le chercheur en particulier sur le Jardin des sciences de Cagnes-sur-Mer, juin 2011, auquel participaient trois classes de MS.

1.4.3. Reproductibilité

Le concept de reproductibilité intègre plusieurs aspects : indépendance du résultat envers le lieu ainsi qu'envers le moment de l'expérience, indépendance du résultat envers la personne qui réalise l'expérience (qu'il s'agisse de personnes différentes ou de la même personne), etc.¹⁸

Le concept même de Jardin des sciences consiste à préparer les élèves à faire reproduire *par d'autres, ailleurs et à un autre moment*, des expériences réalisées en classe, en s'appuyant sur les résultats trouvés à cette occasion. Son orchestration par l'enseignant témoigne de sa conviction de leur reproductibilité. Tous les élèves sondés ont ensuite eu l'occasion de vérifier, en animant le jardin des sciences, la pertinence de ce parti pris, qu'il ait été explicité ou non.

Suite à notre étude, ces différents aspects ne paraissent pourtant pas tous nécessairement aller de soi pour des jeunes élèves.

1.4.3.1. Indépendance envers le lieu

Les entretiens ont permis d'établir que les élèves sont très majoritairement convaincus que le lieu où elle est menée ne change pas le résultat d'une expérience.

Mener la même expérience en deux lieux distincts nous semble constituer un vécu d'élève bien plus riche que la même expérience menée en un seul lieu. Il semble en particulier important pour travailler la notion de reproductibilité, dans son aspect "indépendance du lieu". Trouver des résultats identiques en deux lieux différents consolide en effet l'idée qu'il en serait de même dans un troisième, un quatrième, etc. et permet d'extrapoler l'indépendance du résultat envers le lieu de l'expérimentation.

Trois élèves (de 3 groupes différents sur 35 au total) s'avèrent d'ailleurs capables, en l'absence de toute sollicitation du chercheur, de s'appuyer sur cette double expérience en classe et sur le jardin des sciences pour justifier leur conviction.

1.4.3.2. Indépendance envers le moment

Les élèves n'ont pas été questionnés explicitement sur l'absence d'influence du moment de réalisation de leur expérience sur son résultat. Néanmoins, au cours des entretiens, ils se sont très largement appuyés sur ce qu'ils avaient déjà observé pour extrapoler ce qui se passerait avec un matériel sensiblement différent et n'ont à aucun moment émis l'idée que ce qu'ils avaient trouvé auparavant pouvait dépendre du moment de réalisation de l'expérience. L'indépendance du moment de l'expérience sur le résultat nous a paru « aller de soi » pour eux lors des entretiens.

1.4.3.3. Indépendance envers l'opérateur

Leurs réponses à cette question montrent que c'est cet aspect de la reproductibilité qui pose le plus de problème aux élèves. Une moitié d'entre eux considèrent que deux élèves différents peuvent trouver des résultats

18. cf. section 5.3.2.2.1.

différents s'ils font la même chose malgré une utilisation implicite de leur part de la reproductibilité des résultats de leur expérience par d'autres en animation sur le jardin des sciences.

Les élèves de grande section ont par ailleurs des difficultés à comprendre la question concernant l'absence d'impact de la personne qui fait l'expérience sur le résultat.

La prise de conscience de l'indépendance de la personne qui réalise l'expérience sur son résultat est à la base de l'objectivité scientifique. Elle est accessible sans travail explicite de l'enseignant à certains élèves mais pas à tous. Cet aspect de la reproductibilité est un enjeu qui mérite d'être travaillé par les enseignants de façon explicite pour convaincre leurs élèves que le résultat d'une expérience ne dépend pas de qui la réalise.

1.4.3.4. Reproduction d'une expérience par le même opérateur

Quelques élèves de Grande Section semblent percevoir l'intérêt méthodologique de la répétition à l'identique d'une expérience qu'ils ont déjà faite. Une étude plus systématique serait toutefois nécessaire pour établir si cette compétence peut être efficacement travaillée en GS, comme cela semble être le cas en CP¹⁹.

En l'absence de travail spécifique en classe, la plupart des élèves de GS justifie plutôt cette répétition par un argument d'ordre pédagogique : pour eux, cela sert d'abord à *apprendre* et à *se souvenir*.

Ce type de réponse n'est pas dénué de pertinence : la répétition constitue en effet un procédé pédagogique habituel, et apparemment déjà bien identifié par les élèves de GS, pour les aider à apprendre et à se souvenir. Elle pourrait néanmoins constituer un obstacle à la compréhension du rôle et de l'importance de la reproduction des expériences, et expliquer au moins en partie la différence de maîtrise de cet aspect de la reproductibilité par rapport aux précédents.

1.4.4. Robustesse

« On s'en fout, de la couleur ! »
Nicolas, 6 ans²⁰

Plusieurs compétences élémentaires préalables sont requises avant d'accéder à la notion de robustesse d'une expérience : la maîtrise de l'idée de paramètre élémentaire, de celle de sa pertinence ou non, la capacité d'identification de ces

19. Le témoignage d'une enseignante de CP suggère qu'un travail sur la reproductibilité est accessible aux élèves et leur permet de prendre conscience de son importance : *« Par exemple, concernant le critère de reproductibilité, nous avons refait plusieurs fois l'expérience (comment allumer l'ampoule loin de la pile) et par d'autres personnes. Mes élèves me demandaient pourquoi je leur faisais reproduire cette expérience et m'assuraient que ça marcherait aussi. Quelle ne fut pas leur surprise en se rendant compte que parfois cela ne marchait pas tout le temps ! Il a fallu analyser les paramètres qui avaient évolué (ampoule grillée par exemple ou mal reliée au fil) pour prendre conscience de l'importance de ce critère. »* (Témoignage de Sandrine Aragon, enseignante en CP, 29 mai 2013, participation au jardin des sciences et au stage de novembre 2013 Annexe 6.Q.).

20. Entretien réalisé dans la classe « transvasements » de Mme Géroix.

paramètres. Notons qu'il s'agit de compétences d'application très générales, indispensables également à la mise en œuvre d'une modélisation scientifique.

Les élèves sondés paraissent tous avoir saisi la notion de paramètre, quoique le terme ne soit jamais prononcé par les enseignants. Plus précisément, les élèves font la distinction entre les paramètres susceptibles de modifier le résultat de leur expérience et les autres.

Une large majorité des élèves sondés évalue correctement la pertinence d'un paramètre simple et son impact sur le résultat, et cela qu'un travail spécifique ait ou non été réalisé en classe avec l'enseignant.

Les compétences élémentaires utiles à la construction de la notion de robustesse d'une expérience semblent donc accessibles sans difficulté en Grande Section, au prix d'un travail spécifique en démarche d'investigation. Il nous semble intéressant de favoriser leur développement précoce.

Par contre, la raison pour laquelle on teste la robustesse d'une expérience n'est que très rarement comprise par les élèves de ce niveau.

Ce dernier résultat n'a rien d'inattendu, compte tenu du caractère abstrait de la notion de robustesse. Un premier travail sur cette notion ne semble pas indispensable au niveau de l'école maternelle.²¹

1.4.5. Exploitation du spectre de généralité

La capacité de certains élèves à formuler des généralités et des lois élémentaires ainsi qu'à naviguer entre le général et le particulier a été mise en évidence, en absence de tout travail spécifique des enseignants sur l'élaboration de lois.

Les élèves s'avèrent en revanche incapables de comparer le niveau de généralité de deux formulations légèrement différentes, la compréhension fine du vocabulaire pouvant être une explication à cette difficulté. *Ce manque de sensibilité aux variations de généralité de diverses expressions limite leur capacité à saisir la portée d'une généralité.*

1.4.6. Recul

De nombreux élèves de grande section basculent sans difficulté d'une représentation schématique au monde réel et réciproquement. Ils peuvent également discuter les variations de paramètres symbolisées et les choix des symboles sur des représentations.

La capacité à reproduire précisément la réalité restant faible à cet âge, nous ne sommes cependant pas en mesure d'évaluer s'ils perçoivent les fonctions

21. Pour autant, il serait sans doute envisageable. Les élèves conçoivent sans problème que certains paramètres puissent avoir plus d'influence que d'autres sur le résultat d'une expérience. Lors des entretiens, ils proposent souvent spontanément d'essayer pour vérifier l'idée qu'ils expriment sur le caractère indifférent (ou non) du paramètre proposé par le chercheur. Il semble facile de profiter de cet attrait des élèves pour des variations autour de leur expérience. Une discussion spécifique avec l'enseignant des raisons pour lesquelles les élèves réalisent ce travail contribuerait sans doute à construire chez eux la notion de robustesse.

symboliques et simplificatrices des représentations pour ce qu'elles sont ou comme un simple pis-aller.

Il n'en demeure pas moins que les représentations font sens pour eux et qu'ils sont capables de raisonner en s'appuyant sur elles et sur des lois précédemment construites. Une initiation au recul est donc possible et souhaitable à cet âge, d'autant que c'est également en grande section que les élèves sont initiés à une autre représentation graphique, les lettres, et au sens qu'elles peuvent avoir mises ensemble.

1.4.7. Un premier bilan

De nombreux éléments de scientificité utiles pour la suite de la scolarité sont accessibles dès la grande section de maternelle. Ils peuvent être travaillés en classe et les élèves peuvent se les approprier.

<i>Compétences souhaitables</i>	<i>Accessibilité</i>		
	<i>Aisée</i>	<i>Maj.</i>	<i>Min.</i>
Donner la primauté à l'expérience sur une affirmation	✓		
Essayer avant d'affirmer	✓		
Identifier des paramètres indifférents		✓	
Se convaincre de l'intérêt de modifier un paramètre indifférent lors d'une expérience			✓
Se convaincre de l'indifférence du résultat envers le lieu		✓	
Se convaincre de l'indifférence du moment envers le résultat		✓	
Se convaincre de l'indifférence de l'opérateur envers le résultat		✓	
Se convaincre de l'utilité de reproduire plusieurs fois la même expérience pour s'assurer du résultat			✓
Formuler des généralités à partir de cas particuliers ²²		✓	
Appliquer une loi connue à un nouveau cas particulier		✓	
Manipuler des représentations symboliques		✓	
Naviguer entre une situation et sa représentation symbolique		✓	

Tableau 1.4.7. : Tableau récapitulatif des compétences accessibles à des élèves de GS.

Accessibilité aisée : La plupart des élèves sondés maîtrisent la compétence ;

Accessibilité majoritaire (Maj.) : La majorité des élèves des classes ayant travaillé des séquences adaptées ont acquis la compétence ; Accessibilité Minoritaire (Min.) : Quelques élèves des classes ayant travaillé des séquences adaptées ont acquis la compétence.

22. Les généralités formulées restent toutefois de bas niveau (lois élémentaires) et la compétence n'est acquise que par environ une moitié des élèves.

7.1.5. AUTRES ELEMENTS DE SCIENTIFICITE

Ces résultats encourageants ne signifient en aucun cas que *tous* les éléments de scientificité que nous avons développés pour l'école élémentaire ²³ sont indifféremment accessibles dès la grande section de maternelle. Bien au contraire, les plus abstraits et les plus sophistiqués ont été délibérément écartés de cette étude.²⁴

Discours, argumentation et théorisation

C'est en particulier le cas de la *scientificité d'une loi* ou de la *relativité d'un discours*. Ces éléments de scientificité nous semblent, *a priori*, complexes à travailler avec des petits, dans la mesure où les compétences langagières sur lesquelles ils reposent sont encore très loin d'être en place à la maternelle.

La question du rapport à l'*argument d'autorité* des petits, dont l'enseignant apparaît d'une certaine façon, avec les parents, comme une référence suprême, semble extrêmement intéressante, mais très complexe. Elle déborde amplement du cadre de cette étude, au-delà de la modeste expérience présentée en 8.1.1.2.

Nous n'avons pas non plus abordé la question générale du rapport des petits au discours, qui fait l'objet de nombreux travaux spécifiques, à l'interface entre la didactique des langues et celle des sciences. Les enseignants de maternelle travaillent au quotidien avec leurs élèves des compétences qu'il serait sans doute possible d'interpréter, quoique avec précaution, en termes de *cohérence* et de *non-contradiction du discours*, mais également de sa *non-vacuité*.

Méthodologie scientifique

De même, il serait sans doute envisageable d'adapter au niveau de l'école maternelle la notion de mauvaise pratique (et donc d' "*intégrité*"), mais ce travail sort également du champ de la présente étude, comme l'étude de la perception par les enfants de la construction collective du savoir et de leur rapport à la *communication* des résultats.

La *primauté de l'expérience* et l'*exploitation du spectre de généralité* ont quant à elles été abordées dans cette section. Le *recul* et l'*exploitation du spectre de généralité* le seront dans la section suivante (8.2), dans le cadre cette fois-ci du travail des élèves autour de la fiction.

Observation/Expérience

Nous avons également abordé l'appropriation par les élèves des notions d'*opportunité*, de *reproductibilité* et de *robustesse d'une expérience*.

Les éléments portant sur la *documentation* d'une expérimentation ne l'ont en revanche pas été. Ils nous semblent *a priori* peu accessibles à des élèves de grande section qui en sont encore à découvrir les fonctions et le rôle de l'écrit.

23. Nous reprenons ici systématiquement les catégories développées dans le chapitre 5, § 5.3.

24. Et, le plus souvent, ne sont pas intégrés aux formations spécifiquement destinées aux enseignants de maternelle.

7.1.6. SIGNIFICATION ET LIMITES DE LA “SCIENCE” EXPERIMENTALE EN GS

Le terme de *science* ne se présente pas spontanément à l’esprit des enfants de Grande Section. Lors des entretiens, une seule élève sur soixante-huit l’a utilisé, en l’associant à des « énigmes »²⁵. Par ailleurs, les élèves de grande section n’attribuent pas de valeur particulière à la dénomination d’un « jardin des sciences » ; pour eux, c’est avant tout un endroit où l’on fait des activités.

Les élèves de la classe « transvasements » et « boule à neige » ont enfin été directement interrogés en regroupement (classe entière) sur ce que veut dire le mot « science ». Alors que sur d’autres questions, les doigts se lèvent en nombre et avec empressement pour répondre, cette question ne soulève pas le même enthousiasme. Ils sont bien en peine de répondre et ne savent très majoritairement pas ce que signifie le mot. Quand ils répondent, leurs réponses s’appuient sur ce qu’ils ont vécu au jardin des sciences :

- « C’est travailler » ;
- « C’est beaucoup d’ateliers » ;
- « C’est expliquer ce qu’on doit faire car les autres devant nous ne savent pas » ;
- « C’est où ils disent qu’il y a des problèmes et il faut les résoudre comme une énigme » ;
- « On pense, on le dit à ceux qui sont devant nous » ;
- « On l’explique et on le fait parce que sinon on peut pas savoir la réponse. On peut pas savoir ce qui va se passer ».²⁶

Ce n’est pas une surprise, le concept de science restant très largement en cours de construction au cycle 2 (cf. infra, section 7.5.5.).

Cette absence de référent au terme *science* ne paraît pas être un problème à la maternelle, les élèves ayant encore toute leur scolarité devant eux pour s’approprier ce que recouvre le mot. Les programmes n’exigent d’ailleurs pas des enseignants un travail sur la nature de la science avec de jeunes élèves.

Les élèves de GS apparaissent en revanche clairement capables de mettre en œuvre des compétences essentielles à la démarche scientifique, même si certaines contraintes (robustesse, reproductibilité) sont encore respectées en classe sans être interrogées, et *a fortiori* associées à de bonnes pratiques.

Pour l’enseignant ou un observateur ayant dans sa “boîte à outils” les critères de scientificité formulés dans la partie 5, ce que font les élèves de grande section peut déjà être qualifié de scientifique. Les définitions de la science applicables sont construites sur un faisceau de critères de scientificité (e.g. primauté de l’expérience, reproductibilité, robustesse, recul, exploitation du spectre de généralité), et ne comptent déjà plus parmi les plus triviales.

Le travail réalisé avec leurs enseignants semble donc permettre aux élèves de grande section de poser des bases saines, potentiellement extrêmement précieuses, sur lesquelles leur compréhension de la science pourra se construire ultérieurement.

25. « *Faire des sciences, c’est à peu près comme des énigmes. Je ne sais pas moi...* ». Talia, 6 ans, entretien réalisé dans la classe « transvasements ».

26. Propos recueillis par Pascale Géroix, le 28 mai 2013 après l’animation du Jardin des sciences de Mouans-Sartoux par ses élèves de GS en classe entière.

7.2. Navigation entre fiction et monde physique

« Outils incontournables pour construire, comprendre et dire le monde », ²⁷ les albums jeunesse sont très appréciés des jeunes élèves et abondamment utilisés par les enseignants de maternelle pour l'apprentissage de la langue. Ils peuvent aussi constituer des auxiliaires précieux pour l'apprentissage des sciences ²⁸.

L'objet de cette section est de montrer que leur utilisation dans le cadre d'un enseignement scientifique permet aux élèves de GS de s'approprier des compétences en méthodologie scientifique, en particulier de celles relatives au recul.

Après avoir présenté une utilisation des albums jeunesse adaptée au travail du rapport des élèves à la fiction (§ 7.2.1.), on s'appuiera sur des études de cas (§ 7.2.3. et 7.2.4.) pour observer l'appropriation (ou non) de ces compétences lors d'un travail sur l'album de jeunesse *Plouf !*, de Philippe Corentin (§ 7.2.2.).

7.2.1. LA FICTION : UN OUTIL PRECIEUX A LA MATERNELLE

Très généralement, on sait depuis Samuel Coleridge que c'est une forme de « suspension volontaire d'incrédulité » qui rend possible l'immersion dans un univers de fiction. ²⁹ Par contrat implicite entre un auteur et son lecteur, ce dernier accepte de ne pas rejeter d'entrée un monde dont il ne comprend pas tous les éléments ; de son côté, l'auteur s'engage à fournir au fil de l'histoire les éléments nécessaires à l'appréciation de ses prémisses. Les questionner *a posteriori*, y compris pour tenter de prendre l'auteur en défaut, peut être un jeu intéressant aussi bien au niveau de l'argumentation ³⁰ et de l'analyse que d'une position énonciative qui favorise une acculturation aux sciences ³¹.

Certaines de ces prémisses sont toutefois des conventions inhérentes au contrat de lecture. Ainsi, on sait depuis Esope que les animaux parlent volontiers dans les fables. Les enfants sont typiquement capables dès 4 ans d'identifier une convention littéraire de ce type ³². On peut même trouver des exemples d'humour auto-référentiel enchantant déjà les petits de 4-5 ans (Illustration 7.2.1).

27. Yves Reuter. Récits et disciplines scolaires. *Pratiques*, n° 133-134, 2007.

28. « Aborder les sciences à partir d'albums de jeunesse », La Main à la Pâte, avril 2013. Accessible en ligne : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/17971/comment-faire-aborder-les-sciences-a-partir-dalbums-de-jeunesse> (consulté août 2014).

29. Samuel Coleridge, *Biographia Literaria* (1817), in *Collected Works*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1983.

30. Denise Orange-Ravachol & Éric Triquet, « Sciences et récit, des rapports problématiques », *Aster*, 44, 2007, pp. 7-22.

31. M. Rebière, P. Schneeberger P. & M. Jaubert, « Changer de position énonciative pour construire des objets de savoirs en sciences : le rôle de l'argumentation », in *Argumenter en classe de sciences*, dir. C. Buty & C. Plantin, éd. INRP, Lyon, 2008.

32. J. Wooley & V. Cox, « Development of Beliefs about Storybook Reality », *Developmental Science*, 10 (5), 2007, pp. 681-693.



Mademoiselle Zouzou (la Chatte) : — *Mais c'est une grenouille !*
 Toutou (le Chien) : — *Mais les grenouilles ne parlent pas !*
 Zizi (la Grenouille) : — *Mais si !*
 Mademoiselle Zouzou : — *Vous parlez bien, vous...*
 Toutou : — *Ah bah oui, c'est juste.*

Illustration 7.2.1. : Un exemple d'humour référentiel pour les tout-petits : La Maison de Toutou³³

L'auteur n'en proposant le plus souvent aucune justification interne, questionner de telles conventions purement "littéraires" présente peu d'intérêt pour une investigation d'ordre "scientifique". Il est en revanche toujours légitime de lancer une investigation sur la plausibilité³⁴ d'un élément isolé présenté comme réaliste dans une fiction. Elle sera d'autant plus fructueuse que l'auteur se sera efforcé d'être précis, au prix éventuellement d'un travail spécifique de clarification³⁵.

Des albums jeunesse contrefactuels pour la démarche expérimentale en GS

Nous nous intéressons ici aux albums jeunesse qui comportent un contenu d'intérêt scientifique à la fois testable et accessible aux jeunes élèves, au sens des programmes de l'école maternelle.

Les histoires que nous choisissons présentent typiquement un ensemble de phénomènes physiques (e.g. montée et descente de personnages, fonte d'un glaçon, basculement de personnages sur une bascule) qui peuvent être facilement reproduits dans une classe en construisant un dispositif analogue à celui de l'histoire (e.g. une maquette de puits avec une poulie dans laquelle coulisse une corde, un glaçon, une maquette de pont qui bascule).

Il devient alors possible d'interroger le rapport que ces histoires entretiennent avec le monde réel et plus spécifiquement le réalisme d'événements physiques qui se réalisent dans le monde diégétique. Pour décider de la possibilité ou non, dans le monde physique, de l'événement diégétique questionné, les élèves essaient alors de les reproduire à l'aide de dispositifs analogues à ceux de l'histoire, qu'ils construisent ou manipulent ; alors seulement, ils peuvent conclure.

33. Georges Croses, *La Maison de Toutou*, ép. 2 : « Une nouvelle amie », ORTF, mars 1967.

34. E. Blanquet & E. Picholle. « Vrai, Pas vrai *vs.* Possible, pas possible : importance d'une formulation productive pour une investigation à partir d'albums jeunesse » in Amory, B. & Evrard T. (dir.), *Réveille-moi les sciences ! Apprendre les sciences de 2 1/2 à 14 ans*. Ed. De Boeck, 2012, pp. 71-77.

35. C. Bruguière, J.-L. Héraud, J.-P. Errera, & X. Rembotte. « Mondes possibles et compréhension du réel. La lecture d'un album en cycle 2 comme source de questionnement scientifique ». *Aster*, 44, 2007, pp. 69-106.

Une réponse du type « *c'est possible* » / « *ce n'est pas possible* » n'a de sens que si :

- Les élèves comprennent l'analogie entre les événements présents dans l'histoire et ceux qui se déroulent en classe ;
- Ils comparent effectivement ce qui se passe dans les deux situations

Autrement dit, ils doivent pour répondre naviguer de façon raisonnée entre une représentation — celle proposée par l'histoire — et le monde physique (par le biais de maquettes, typiquement). Une telle utilisation de la fiction permet donc de tester la capacité des élèves à s'approprier des compétences liées au *recul*.

L'utilisation de fictions contrefactuelles³⁶ est particulièrement intéressante lorsque la dissonance résulte d'une subtilité ou d'une difficulté susceptible d'être partagée par les élèves, quand l'identification d'erreurs par trop grossières n'apporterait pas grand-chose.³⁷ Le jeu du *possible/pas possible* est alors un défi à la sagacité des élèves et il est préférable de choisir des histoires présentant une incohérence interne assez subtile (ou savamment masquée par l'auteur) pour n'être pas perceptible au premier regard.

Ces histoires contraignent les élèves à se positionner par rapport à ce qui s'y passe en donnant la primauté soit à l'expérience (dans ce cas l'histoire n'est pas possible) soit à la fiction (dans ce cas ce qui se passe en classe « *n'est pas normal* »). En plus d'un travail sur le recul, les fictions contrefactuelles permettent donc un travail sur la primauté de l'expérience. Enfin, elles sont une invitation à discuter avec les élèves des distinctions entre fiction et réalité, ainsi que de la liberté narrative de l'auteur.

7.2.2. UN CAS D'ECOLE (MATERNELLE), PLOUF !

Notre album de référence sera *Plouf !*, de Philippe Corentin.³⁸ Cet album extrêmement populaire parmi les enseignants de maternelle,³⁹ apprécié des petits comme des grands, présente de plus la caractéristique d'être facile à tester dans un contexte de classe.



Illustration 7.2.2. : Couverture de l'album Plouf ! de Philippe Corentin

36. Nous qualifierons ici de « fiction contrefactuelle » un texte intégrant au moins un élément isolé (à l'exclusion donc des conventions littéraires) et présenté comme diégétiquement factuel dont le comportement s'avère incompatible avec les lois qui gouvernent le monde physique.

37. E. Blanquet & E. Picholle. « Déjantages, ellipses et incohérences formatives » in *Science et fictions à l'école : un outil transdisciplinaire pour l'investigation ?* (dir. E. Blanquet, E. Picholle), Actes des premières journées Science-Fiction et Enseignement de l'IUFM de Nice. Ed. du Somnium, Nice, 2011. pp. 123-132.

38. Philippe Corentin, *Plouf !* ; éd. Ecole des Loisirs, Paris, 1991.

39. Pour l'utiliser très régulièrement en formation permanente, nous estimons que plus de 80% des enseignants de maternelle connaissent cet album, et que plus de la moitié l'utilisent effectivement en cours.

2.2.1. Présentation de l'album

L'intrigue avance grâce à un dispositif technique simple : une poulie, une corde et un seau, au moyen desquels les personnages se succèdent au fond du puits, en faisant remonter celui qui les y précédait.

L'histoire comporte toutefois un paradoxe physique, élémentaire mais s'effaçant si bien devant la dynamique narrative qu'il en devient transparent. L'auteur indique que, en dépit d'une courriel scolaire abondants suscité par l'album, il a tout au plus reçu « deux ou trois lettres en vingt ans » concernant ce problème⁴⁰.

L'histoire met en scène un loup qui, croyant voir un fromage au fond d'un puits, s'y retrouve piégé (Illustration 2.2.1.a.). Il parvient à remonter en y attirant un cochon. Le cochon piège à son tour des lapins qui se retrouvent au fond du puits avant d'être enfin remontés par le loup du début. Cette dernière étape est clairement contrefactuelle, le loup ne pouvant être à la fois le plus léger et le plus lourd des personnages.



Illustration 2.2.1.a. : Les différentes étapes de Plouf ! de Philippe Correntin

Il est facile d'en construire une simulation analogique autour d'un système d'axes et de poulie (Illustration 2.2.1.b. & c.) et de mettre en évidence cette impossibilité dans notre monde physique.

40. Interview avec Philippe Correntin. « Dans une histoire, on dit ce qu'on veut ! » in *Science et fictions à l'école : un outil transdisciplinaire pour l'investigation ?* (dir. E. Blanquet, E. Picholle), Actes des premières journées Science-Fiction et Enseignement de l'IUFM de Nice. Ed. du Somnium, Nice, 2011. pp. 199-202.



Illustration 2.2.1.b. : Le puits de Philippe Corentin (à gauche) et un modèle analogique (Jardin des sciences de Cagnes-sur-Mer, à droite)

La séquence que nous avons conçue⁴¹ invite les élèves à s'interroger sur la possibilité pour les personnages de monter et descendre « comme dans l'histoire ». L'enseignant en propose une simulation analogique, avec des personnages fabriqués de façon à ce que le début de l'histoire y soit réalisable (e.g. en pâte à modeler avec un loup plus léger que le cochon lui-même plus léger que les trois lapins). La simulation met ensuite en évidence l'impossibilité de la dernière étape où le loup remonte les lapins. L'attention des élèves se reporte alors sur le fonctionnement de la poulie qui ne permet pas à un personnage d'être remonté par un autre plus léger que lui.



Illustration 2.2.1.c. : Deux simulations analogiques du puits de Philippe Corentin : à gauche : au Jardin des sciences de Peymeinade ; à droite : classe de GS de Saint-Laurent-du-Var

L'histoire est très riche. D'autres questionnements seraient également possibles. On pourrait ainsi s'interroger sur le réalisme zoologique, dans le monde réel, d'un trio de lapins plus lourd qu'un cochon bien dodu⁴² ; ou encore travailler le concept de transitivité, au sens mathématique, qui peut constituer pour les psychologues un marqueur du développement cognitif de l'enfant⁴³.

41. Séquences M11 du guide *Sciences à l'école côté jardin. Le Guide pratique de l'enseignant*, pp. 341-346, (Annexe 2.A.) et chapitre « Un Cas d'école (maternelle) : Plouf ! de Philippe Corentin » in *Science-Fiction : un outil pour l'enseignement des sciences à l'école ?* ; op. cit., pp. 179-202.

42. C'est un questionnement qui surgit spontanément lorsque la séquence est vécue par des enseignants en formation. cf. Annexe 6.E. page 15, prises de parole 250 et 252.

43. Suggestion de Henri Lehalle, prof. de psychologie du développement (Un. Montpellier), après visionnage d'interviews avec les élèves de GS.

On s'intéresse ici aux seuls aspects mécaniques liés aux déplacements des personnages. La séquence a été testée en amont de cette étude sur de nombreuses classes de maternelle et d'élémentaire : la comparaison des poids relatifs des personnages et de ceux d'animaux réels n'est pas soulevée spontanément par des élèves de GS et rarement par des élèves de CP. Elle l'est en revanche par des élèves plus âgés (ou des adultes en formation) mais il suffit alors de préciser la question (« *il s'agit de personnages et pas d'animaux réels, on cherche à voir autant que possible si l'on peut faire comme dans l'histoire* ») pour revenir au questionnement initial.

Le déroulement de la séquence a été conçu pour développer chez les élèves des compétences dans différents registres :

- Du point de vue des contenus scientifiques, avec la simulation de l'histoire et l'utilisation de la poulie, ils peuvent construire ou affiner la distinction entre volume et poids d'un objet.
- D'un point de vue méthodologique, ils sont invités à réaliser un modèle analogique (et donc à travailler le recul) avec un objectif précis, tester l'histoire (opportunité de la manipulation) puis, après avoir constaté la dissonance entre l'histoire et l'expérience, à discuter le statut de l'histoire (primauté de l'expérience).
- Par ailleurs, en refaisant plusieurs fois les manipulations (reproductibilité) et en variant la matière et la forme des personnages utilisés (robustesse) il est possible de *dégager une loi* : « *quand on utilise une poulie, c'est toujours le plus lourd qui descend* » (exploitation du spectre de généralité).

2.2.2. Compétences mobilisées

Cette séquence mobilise cinq compétences portant respectivement sur :

- l'opportunité de la manipulation
- la gestion de la dissonance histoire / expérience
- la construction du lien entre le modèle analogique et l'histoire
- le statut de la fiction
- l'impact du poids sur les montées et descentes des personnages.

Les trois premières sont directement associées à des éléments de scientificité. Les deux suivantes fournissent des informations complémentaires sur ce que les enfants ont appris, en termes de contenus scientifiques comme de rapport à une fiction, à partir de la séquence.

Un enseignant qui suit intégralement le déroulement proposé dans la séquence les travaille toutes, même s'il n'en a pas forcément conscience.

Paliers de compétence

Nous chercherons à évaluer parallèlement ces cinq compétences, qui peuvent elles-mêmes être décomposées en paliers discrets. L'élaboration de ces paliers prend en compte une maîtrise croissante de chaque compétence. Nous en dégageons quatre par compétence, ce qui autorise une présentation des résultats

sous forme de diagramme de Kiviat⁴⁴. Leur calibrage est réalisé en se basant à la fois sur les objectifs visés et sur la lecture répétée des transcriptions.

2.2.1.1. Opportunité de la manipulation

L'objectif de la manipulation est de vérifier si l'histoire est possible. La compétence méthodologique associée à son opportunité est considérée comme acquise si l'élève le formule explicitement, avec ses propres mots (palier 4).

e.g. : « On allait voir si c'était vrai ou pas vrai l'histoire ».

[binôme A1 ligne 10 : palier 4]⁴⁵

Au palier le plus bas (palier 1), un élève manipule le puits fabriqué comme un jouet, sans poser de lien explicite entre ce dernier et l'histoire.

Au niveau suivant (palier 2), il exprime l'existence d'un lien entre la manipulation et l'histoire mais n'explique pas de raison spécifique à la manipulation.

e.g. : « — Pour travailler parce que l'on était sur les loups.
— Oui, pour lire un "livre de loup", voilà.
— C'est Plouf ! »

[binôme A2 lignes 6-10 : palier 2]

Au palier 3, il justifie explicitement l'utilisation du puits par la volonté de reproduire l'histoire.

e.g. : « On a fait l'histoire. »

[binôme A8 ligne 9: palier 2]

Palier 1	Manipulation du puits
Palier 2	Établissement d'un lien entre la manipulation et l'histoire
Palier 3	Identification d'un <u>objectif de reproduction</u> de l'histoire en classe
Palier 4	Identification d'un <u>objectif de vérification</u> de la "possibilité" de l'histoire

Tableau 2.2.1.1. Paliers relatifs à l'opportunité de la manipulation

2.2.1.2. Gestion de la dissonance histoire/expérience

Il s'agit d'évaluer la capacité des élèves à gérer la dissonance entre ce qui se passe à la fin de l'histoire et l'expérience. La compétence méthodologique associée porte sur la primauté de l'expérience sur la fiction. Elle est considérée comme acquise si l'élève la formule explicitement, que ce soit à propos de la fiction considérée ou à propos d'une autre histoire (palier 4).

e.g. : « Oui, mais parce qu'il descendait [dans le livre] mais quand on a fait ça (montre le puits) il ne descendait pas ».

[binôme A7 ligne 118 : palier 4]

e.g. : « Elle est possible. Parce que si elle n'est pas possible, le glaçon quand il fait chaud il ne fondrait pas. Et si elle est vraie il fond⁴⁶ ».

[binôme A1 ligne 74 : palier 4]

Au palier le plus bas (palier 1), un élève n'identifie pas de dissonance entre l'histoire et ce qu'il voit. Au niveau suivant (palier 2), il prend en compte la

44. cf. chapitre 4, section 4.2.2.6.

45. Les transcriptions dont sont extraites ces citations se trouvent en Annexe 7.A.a. à 7.A.c.

46. Emmanuelle Advenier & Antoine Guilloppé, *Petit Glaçon*, éd. Gautier Languereau, 2008.

dissonance mais non les contraintes imposées par l'histoire, comme ne pas tirer sur la corde.

e.g. : « *Ce n'est pas grave, ils sont descendus !* ». [binôme A2 ligne 92 : palier 2]

Au palier 3, il explicite certaines contraintes sur ce qu'il peut ou non faire avec le puits fabriqué et les personnages.

e.g. : « *C'est pas elle qui doit le [le seau] descendre ! / Il descend tout seul* ». [binôme A11 lignes 32-34 : palier 3]

Palier 1	Dissonance non identifiée
Palier 2	Prise en compte de la dissonance (e.g. tentative de forçage)
Palier 3	Prise en compte des contraintes imposées par l'histoire sur l'expérience (e.g. ne pas tirer sur la corde)
Palier 4	Revendication de la primauté de l'expérience

Tableau 2.2.1.2. Paliers relatifs à la gestion de la dissonance histoire/ expérience

2.2.1.3. Maîtrise du concept de poids

Au cours de la séquence *Plouf !*, les élèves sont conduits à travailler le concept de poids. Ils sont également susceptibles de dégager une loi générale liant le poids des objets à leurs montées/descentes à l'aide de la poulie. La compétence méthodologique associée à l'exploitation du spectre de généralité est considérée comme acquise si l'élève formule explicitement cette loi avec ses propres mots (palier 4).

e.g. : « *Quand il y a un truc léger en bas et quand en haut c'est léger ça peut pas, euh, le truc léger en haut et le truc lourd en bas ça ne peut pas faire* (geste de bascule avec les bras)... *basculer* ». [binôme B3 lignes 159-161 : palier 4]

Au palier le plus bas (palier 1), l'élève constate juste les montées et descentes des personnages sans faire allusion à la raison pour laquelle ils se déplacent.

Au palier suivant (palier 2), il justifie par un argument lié au poids mais cet argument n'est pas forcément manipulé correctement (confusion avec le nombre de personnages par exemple).

e.g. : « *Comme il est plus lourd, comme le lapin est plus lourd que le cochon, comme ils sont trois, ben le cochon il remonte* ». [binôme A5 lignes 73 : palier 2]

Au palier 3, les formulations employées par l'élève ne révèlent pas de confusion entre la notion de poids et celles de volume ou de nombre (e.g. utilisation répétée du mot *lourd* sans confusion avec d'autres propriétés).

e.g. : « *Parce que les lapins ils sont plus lourds que le loup./ Parce que les lapins ils sont plus lourds* ». [binôme A7 lignes 82 et 98 : palier 3]

Palier 1	Observation du mouvement des personnages
Palier 2	Justification du mouvement des personnages par un argument lié au poids (correct ou non e.g. confusion du <i>poids</i> avec le <i>nombre</i> de personnages)
Palier 3	Appropriation de la notion de poids (sans confusion avec celles de volume ou de nombre)
Palier 4	Élaboration d'une loi (e.g. "C'est toujours le plus le plus lourd qui descend.")

Tableau 2.2.1.3. Paliers relatifs à l'impact du poids sur les montées/ descentes des personnages

2.2.1.4. Modèle analogique

Les élèves manipulent un modèle analogique du puits de *Plouf* !. La compétence méthodologique associée au recul est considérée comme acquise sur la séquence lorsqu'un élève identifie explicitement (en nommant ou en montrant sur une image) les éléments pertinents pour construire l'analogie du puits de l'histoire, en particulier la poulie (palier 4).

e.g. : « [ce n'est pas possible d'utiliser ce puits] *Parce que là, il n'y a pas une petite poulie qui fait descendre ou monter* ». [binôme B3, ligne 268 : palier 4]

Au palier le plus bas (palier 1), les élèves jouent avec la maquette sans la corréler à l'histoire (on retrouve un équivalent du palier le plus bas pour l'évaluation de la compétence "opportunité de la manipulation").

Au palier suivant (palier 2) les élèves corrélaient explicitement la maquette à l'histoire sans interroger explicitement sa fabrication.

Au palier 3, ils discutent des différences sans forcément identifier les éléments techniques pertinents.

e.g. : « *Ah, c'est un tronc d'arbre qui le [le puits] tient* (montre l'image) / *Et là, non !* (montre le puits fabriqué) ». [binôme A11, lignes 122-124 : palier 3]

Palier 1	Les élèves jouent avec la maquette
Palier 2	corrélation entre la maquette et l'histoire
Palier 3	discussion des différences
Palier 4	identification des éléments techniques pertinents (e.g. présence d'une poulie)

Tableau 2.2.1.4. Paliers relatifs au modèle analogique

2.2.1.5. Statut de la fiction

Le travail sur une fiction contrefactuelle invite à s'interroger sur son statut : un auteur peut-il on non construire un univers où la physique est différente de celle de notre monde ? Un élève qui revendique la liberté de l'auteur à écrire ce qu'il veut, y compris sur la physique de son monde, a acquis la compétence sondée (palier 4).

e.g. : « *C'est une histoire, on peut dire tout ce qu'on veut* ».

[binôme C1, ligne 68 : palier 4]

Au palier le plus bas (palier 1), les élèves distinguent fiction et réalité. Au palier suivant (palier 2), ils constatent une dissonance entre fiction et expérience sans pour autant exprimer que la physique de l'histoire puisse ne pas être la même que la nôtre. Au palier 3 apparaît l'idée que la physique peut être différente dans l'histoire et dans le monde physique, avec éventuellement une préférence pour les histoires qui respectent la physique de notre monde.

e.g. : « *Non, tu peux en faire d'autres où tu peux le faire. / Je veux dire, tu peux faire des histoires où ça marche* ». [binôme A4, ligne 137-139 : palier 3]

Palier 1	Distinction entre fiction et réalité
Palier 2	Constat de la possibilité d'une dissonance
Palier 3	Acceptation de la possibilité de physiques différentes (e.g. c'est mieux une histoire possible qu'une histoire pas possible)
Palier 4	Revendication de la liberté narrative de l'auteur, y compris sur la physique de la fiction

Tableau 2.2.1.5. Paliers relatifs au modèle analogique

7.2.3. OBSERVATION DE PRATIQUES DE CLASSE

Une première analyse de l'acquisition de ces compétences par des élèves de Grande Section dérive de l'observation du travail d'un groupe, accompagné par l'enseignant, sur la séquence *Plouf !* (les classes sont présentées en section *Méthodologie*, § 4.2.2.2.).

2.3.1. Résultats

Les conditions de classe ne permettent pas d'évaluer de façon fine les compétences propres à chaque élève. Il a en revanche été possible de construire un diagramme de Kiviat collectif à partir de la retranscription de la séance.

A titre d'exemple de construction d'un tel diagramme, les considérations ayant présidé à cette évaluation sont détaillées dans la figure 2.3.1. pour les cinq dimensions du diagramme. Rappelons que lorsqu'un palier est franchi et qu'il y a de fortes présomptions que le suivant le soit également sans possibilité de s'en assurer complètement, les élèves sont positionnés entre les deux paliers (valeurs demi-entières).

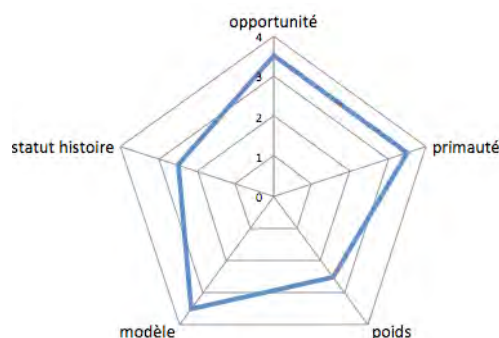


Figure 2.3.1. : diagramme de Kiviat collectif pour le groupe d'élèves lors de leur premier contact avec la simulation en classe de *Plouf !*

Modèle analogique

Dès la première mise en œuvre en classe, une élève (Anne-Charlotte) négocie avec ses camarades le statut de la simulation analogique. Ils s'accordent sur le fait qu'il ne s'agit pas d'un « vrai » puits mais d'un puits « fabriqué ». Les élèves atteignent ce faisant le palier 3.

Certains (Ingrid et Anne-Charlotte) considèrent par ailleurs que la présence de la poulie suffit à caractériser la fabrication d'un puits : ils la désignent au maître quand celui-ci leur demande de montrer le puits. C'est un marqueur de leur capacité à identifier des paramètres pertinents pour que le puits soit fonctionnel. En absence d'autres éléments permettant d'en avoir confirmation, nous plaçons le groupe entre les paliers 3 et 4.

Gestion de la dissonance histoire/ expérience

Une élève (Anne-Charlotte) considère qu'il faut lâcher la corde pour voir ce qui va se passer lors de la dernière étape de la simulation de l'histoire. Néanmoins, immédiatement après avoir constaté que le loup ne descendait pas comme l'histoire le prévoit, elle tire sur la corde pour le faire descendre malgré tout. Quand l'enseignant l'interroge à ce propos, elle reconnaît volontiers, comme tous

les autres élèves, qu'on n'a pas le droit de tirer sur la corde. Le palier 3 de compétence est atteint.

Quand l'enseignant le leur demande ensuite, ils sont d'accord pour affirmer, en chœur, que l'histoire n'est pas possible « *parce que le loup ne descend pas* ». Cette affirmation succède à un échange où une élève (Camille) a rappelé que, dans l'histoire, le loup descendait et les lapins remontaient. La juxtaposition de ces échanges de paroles suggère que les élèves associent l'impossibilité de l'histoire à cette contradiction entre l'histoire et l'expérience. En l'absence de justification plus explicite, nous évaluons les compétences du groupe entre les paliers 3 et 4.

Opportunité de la manipulation

A chaque étape, les élèves placent les personnages dans le puits comme indiqué dans le livre. Quand l'enseignant demande aux élèves si ce qui se passe dans l'histoire se passe aussi en classe, ils répondent en chœur sans hésitation. Le palier 3 est donc atteint.

Les réponses sont parfois plus indirectes. Ainsi, lorsque l'enseignant questionne les élèves sur ce qu'ils sont en train de vérifier, un élève (Maelic) répond à plusieurs reprises « *rouge* ». Dans le contexte, un point de couleur vert (ou rouge) est associé à la concordance (ou non), de chaque étape de l'histoire avec sa simulation. Ce simple mot « *rouge* » peut alors se traduire par : « *On voulait vérifier si l'étape de l'histoire est possible : elle ne l'est pas, il faut mettre un point rouge en face de l'image correspondante* ». Sous réserve de cette interprétation, cet élève a atteint le palier 4 (i.e. objectif de *vérification*).

Par prudence, nous évaluons le groupe entre les paliers 3 et 4 dans cette dimension.

Maîtrise du concept de poids

On observe une discussion animée entre élèves à propos du loup qui ne descend pas. Elle laisse supposer que certains (Maeva) ont bien compris que c'est le poids (plutôt que le *nombre* de personnages) qui est le facteur déterminant les montées et descentes.

Néanmoins, par défaut, nous situons le groupe entre les paliers 2 et 3.

Statut de la fiction

Les échanges indiquent clairement que les élèves prennent en compte la dissonance (palier 2 atteint). Faute de question ciblée, rien n'indique toutefois que les élèves acceptent que la physique de l'histoire soit différente de la nôtre.

Le groupe se situe donc entre les paliers 2 et 3.

2.3.2. Des compétences accessibles dès la mise en œuvre

Les élèves apparaissent spontanément capables de mobiliser les compétences sondées, alors même que la séance est mise en œuvre pour la première fois en classe.

Au regard de la primauté de l'expérience, on retrouve des compétences similaires à celles mises en évidence dans la section précédente. Ici, la primauté lui est donnée sur l'histoire quand ils constatent la discordance entre l'histoire et la simulation. L'identification de l'objectif du travail réalisé (opportunité de l'expérience) est satisfaisante dans les deux cas.

Les élèves acceptent par ailleurs une simulation analogique du puits dessiné de l'histoire — précédemment ils acceptaient une représentation symbolique du matériel utilisé en classe — et semblent identifier certains éléments nécessaires à son bon fonctionnement (identification de paramètres pertinents).

Les paliers atteints dépassent les niveaux élémentaires (1-2) pour toutes les compétences. On atteint même les paliers hauts (3 ou au-delà) pour trois d'entre elles.

Remarques

Les observations de terrain sur le jardin des sciences vont dans le même sens que ces observations de classe. Comme en classe, les élèves visiteurs construisent assez facilement le puits à partir du matériel mis à leur disposition. Ils ne se posent en revanche pas de question sur la pertinence de la simulation analogique. Comme en classe, le constat de non-descente du loup est le plus souvent suivi d'une tentative de tirer sur la corde pour le faire descendre. Une discussion rapide le plus souvent menée par l'adulte assistant les élèves de GS animateurs sur l'atelier conduit la très grande majorité des visiteurs à conclure que l'histoire n'est pas possible. Les visiteurs considèrent volontiers qu'on ne peut pas tirer sur la corde si on respecte les contraintes de l'histoire. L'argument le plus souvent utilisé ensuite, pour expliquer la non-descente du loup, est la présence de trois lapins, leur nombre étant associé à un poids plus élevé.

Ces premiers résultats confortent la conclusion de la section 8.1. selon laquelle de nombreux éléments de scientificité utiles pour la suite de la scolarité sont accessibles dès la grande section de maternelle.

Ces premiers résultats confirment également l'importance des interactions entre élèves pour récupérer des informations et faire émerger leurs idées. Ils confortent l'idée d'entretiens par binôme pour profiter de ces interactions. L'inconvénient sera en revanche qu'on récupérera des informations relatives à deux élèves, sans possibilité d'apprécier réellement le niveau de compréhension de chaque enfant.

7.2.4. ENTRETIENS DIFFERES

Les compétences acquises par des élèves de GS lors du travail sur la séquence *Plouf !* sont-elles stables ? Les élèves restent-ils capables de les mobiliser de nouveau plusieurs mois, voire plusieurs années, après le travail réalisé en classe ?

Ce type de problématique suppose un suivi des élèves à moyen ou long terme. Une telle entreprise présente toujours une difficulté particulière après qu'ils sont passés dans la classe supérieure. La participation d'enseignants de terrain volontaires a contraint l'étude. Les enseignants ont été sollicités suite à des animations pédagogiques ou à leur participation à un jardin des sciences. Les délais ont donc été imposés par les circonstances. Ils sont ici de un, quatre, sept, seize et dix-neuf mois.

Tous les enseignants concernés ont insisté explicitement avec leurs élèves sur la primauté de l'expérience. Les autres compétences méthodologiques ont été mobilisées en classe sans être explicitées.

L'évaluation différée des compétences acquises par les élèves est réalisée au cours d'entretiens par binômes avec le chercheur.

Ancienneté du travail en classe	< 1 mois (ITW unique)	4 mois (1 ^e interview)	7 mois (1 ^e interview)	1 an et 2 mois (2 ^e interview)	1 an et 7 mois (2 ^e interview)
GS	23	10	16		
CP	18			9	6

Tableau 7.2.4. : Tableau récapitulatif du nombre d'élèves interviewés suite à la séquence « Plouf ! »⁴⁷

2.4.1. Entretiens différés de un, quatre et sept mois

2.4.1.1. Diagramme de Kiviat

Les diagrammes de Kiviat ont été réalisés sur la base des transcriptions des entretiens. Lorsqu'il est possible de distinguer les élèves d'un binôme, leurs diagrammes de Kiviat sont superposés.

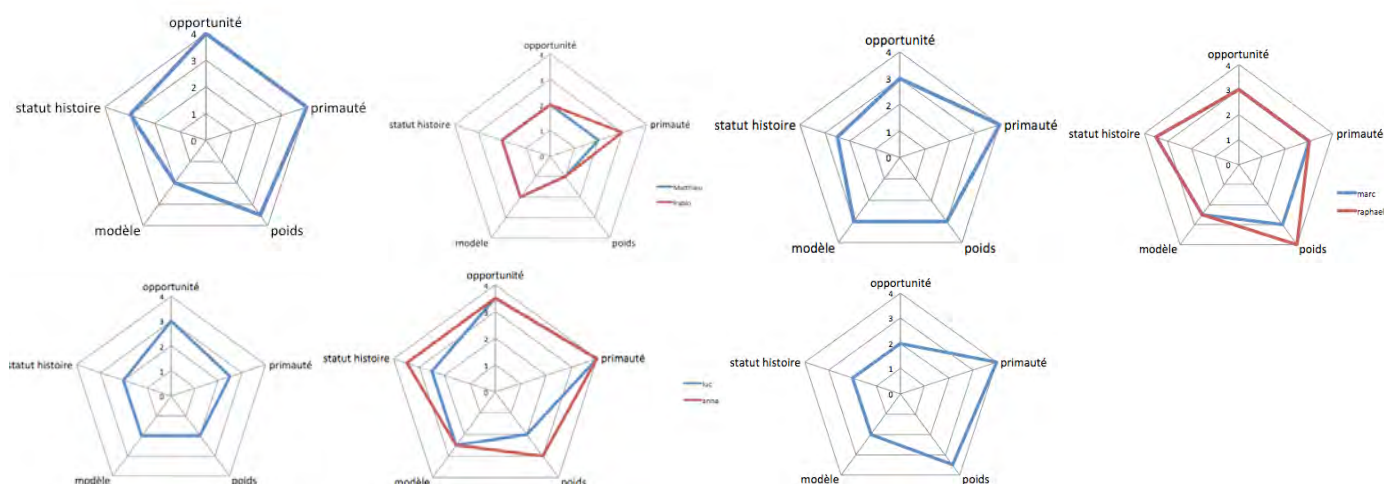


Figure 2.4.1.1.a. : Entretiens réalisés à un intervalle de 7 mois, M. Wolff

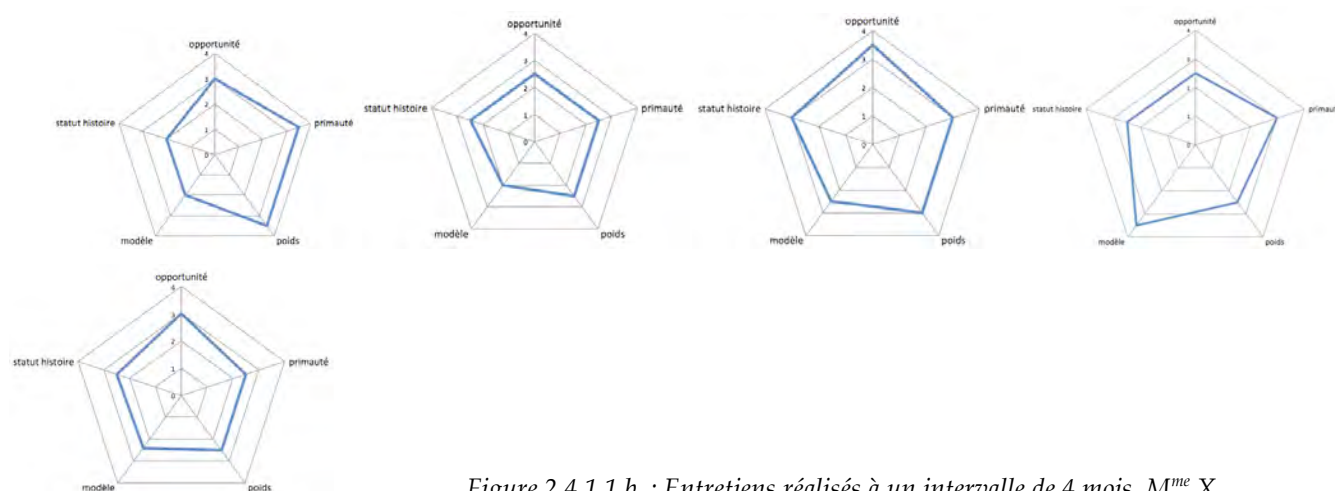


Figure 2.4.1.1.b. : Entretiens réalisés à un intervalle de 4 mois, M^{me} X.

47. Les 15 élèves concernés par les interviews retardées étaient en grande section lors du travail initial et de la première interview, et au cours préparatoire lors de la seconde.

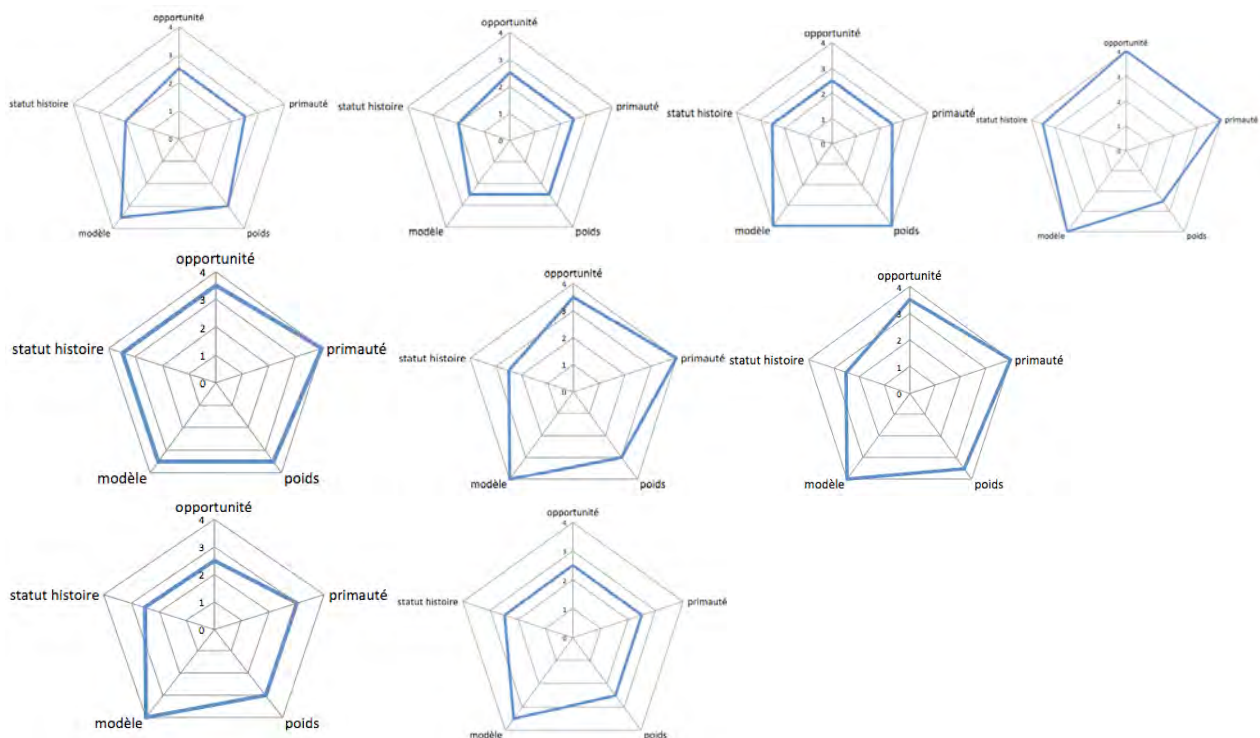


Figure 2.4.1.1.c. : Entretiens réalisés à un intervalle de 1 mois, M^{me} Pradel

Des acquisitions de compétences non corrélées

Le constat le plus immédiat est que la dispersion des compétences est importante au sein même de chaque groupe (*i.e.* de chaque classe).

On peut toutefois identifier des tendances légères : les dimensions de la primauté de l'expérience et de la modélisation semblent privilégiées, respectivement dans les classes de M. Wolff & M^{me} Pradel.

Les élèves de la classe de M^{me} Pradel ont eu à répondre à une question supplémentaire du chercheur sondant spécifiquement la dimension modélisation. Cette modification du questionnaire a pu modifier légèrement l'ensemble des profils de la classe.

La mise à disposition du puits pendant deux semaines chez M. Wolff peut être responsable du déplacement vers les paliers hauts de la dimension primauté de l'expérience dans sa classe.

Un intérêt majeur des diagrammes de Kiviat est par ailleurs de mettre facilement en évidence d'éventuelles corrélations entre leurs dimensions. Or les formes des diagrammes obtenus sont variées. D'autre part, la plupart ne présentent pas de "trou" significatif, qui indiquerait une compétence manquante pour un groupe ayant acquis les autres.

Dans la mesure où l'échantillon de 48 élèves peut être considéré comme représentatif, on peut donc admettre que :

- la capacité d'acquisition des diverses compétences méthodologiques semble relativement homogène pour un même élève

- Il ne semble y avoir de corrélation, ni positive, ni négative, entre les dimensions analysées.

Impact du délai séquence-entretien

On ne constate pas de baisse significative des compétences lorsque le délai séquence-entretien augmente. Leur variation en fonction du temps écoulé n'est pas distinguable de la dispersion des compétences entre les groupes d'une même classe.

Les diagrammes de Kiviat ont par ailleurs sensiblement la même allure pour les entretiens à un, quatre et sept mois.

Des objectifs de formation majoritairement atteints

Les compétences méthodologiques acquises par les élèves répondent de façon satisfaisante aux objectifs de formation des séquences, et s'expriment encore sans difficulté plusieurs mois après le travail concerné.

Tous entretiens et toutes dimensions confondus, entre 19 et 43% des binômes interrogés atteignent ou dépassent le palier 3 (Figure 2.4.2.1.d.). La quasi-totalité des groupes sont sur des paliers supérieurs ou égaux à 2 pour l'ensemble des compétences avec au moins une compétence atteignant ou dépassant le palier 3.

Seul le groupe A2 a l'essentiel des compétences sur des paliers de niveau inférieur ou égal à deux. Ce binôme est par ailleurs identifié par l'enseignant comme étant en difficulté (« Tu vois, je les prends en soutien tous les deux parce que j'ai l'impression qu'il n'y a rien qui se construit. », commente leur enseignant après l'entretien).

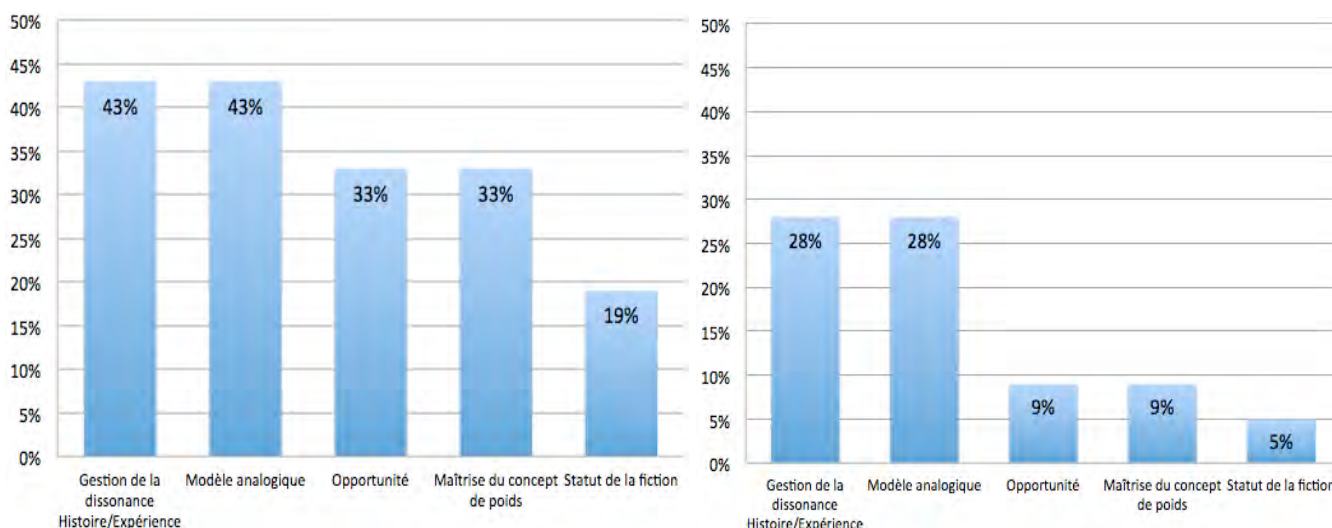


Figure 2.4.1.1.d. : à gauche, proportion de binômes atteignant au moins le palier 3, par compétence ; à droite proportion de binômes ne dépassant pas le palier 2, par compétence (100 % = 21 binômes)

Une faible variation inter-école

On constate une relative homogénéité dans les résultats des deux écoles pour la quasi-totalité des compétences.

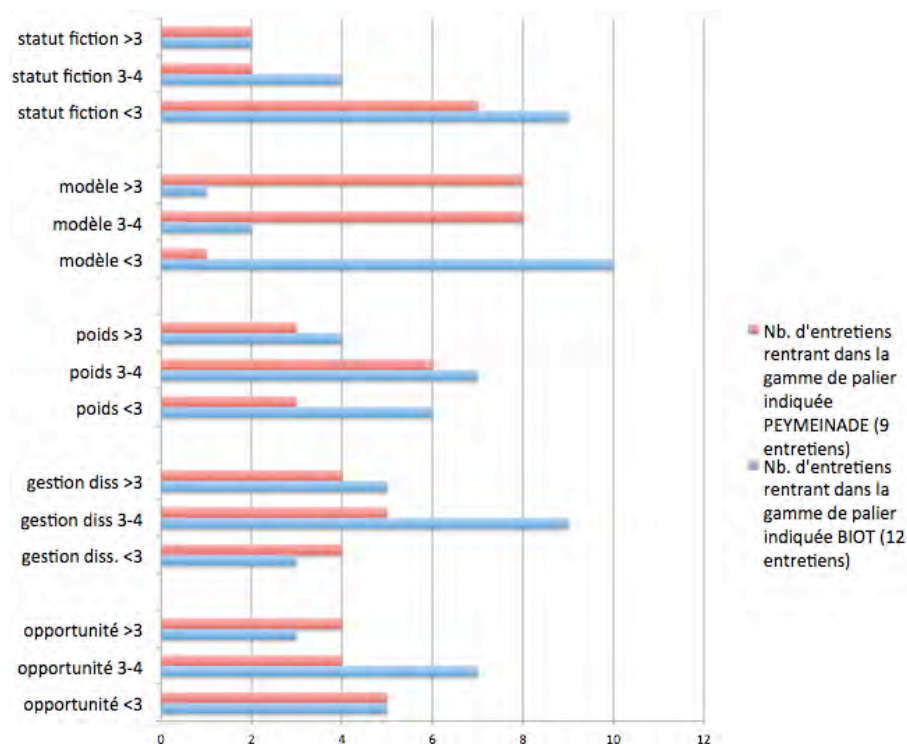


Tableau 2.4.1.1.e. : Répartition par école du nombre d'entretiens pour lequel, pour chaque dimension, le palier 3 n'est pas atteint, les paliers 3 à 4 sont atteints, le palier 3 est dépassé

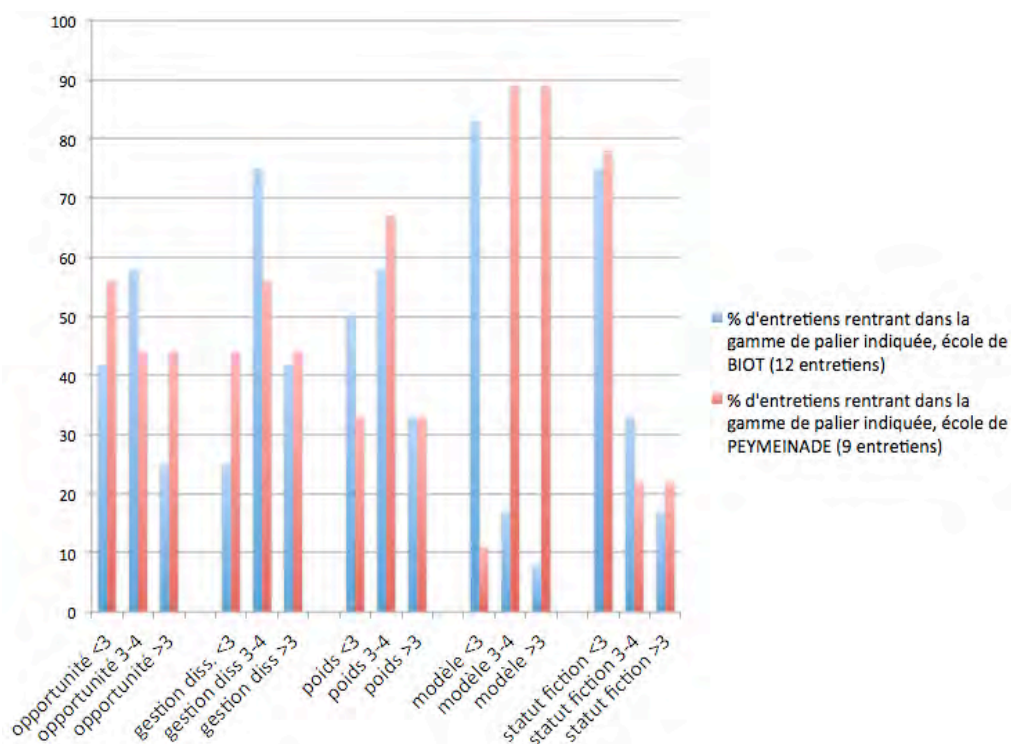


Tableau 2.4.1.1.f. : Pourcentage par école d'entretiens pour lequel, pour chaque dimension, le palier 3 n'est pas atteint, les paliers 3 à 4 sont atteints, le palier 3 est dépassé

Seule la dimension modélisation présente des variations significatives. Il est difficile néanmoins d'en tirer des conclusions claires. Cette variation est sans doute moins liée à une différence d'acquisition de la compétence qu'à la

différence de questionnement dans les deux écoles. La question⁴⁸ permettant de révéler cette compétence n'a en effet été posée qu'aux élèves de Peymeinade. En conséquence, l'évaluation des élèves de Biot sous-estime probablement leur niveau de compétence.

Globalement, les variations d'une école à l'autre restent comparables à la dispersion au sein d'une même classe. La démarche semble robuste au changement d'enseignant et aux petites variations pédagogiques qu'ils apportent à la séquence.

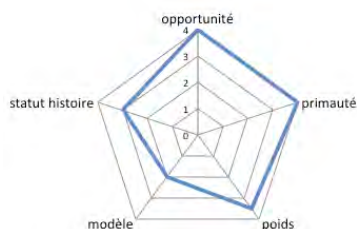
2.4.1.2. Remarques sur l'évaluation des entretiens

- La grande diversité des diagrammes et l'étalement sur une large gamme de paliers des différents groupes confortent le choix initial des différents paliers.
- Deux évaluateurs indépendants ont noté les binômes puis confronté leurs notations et discuté pour obtenir un consensus.

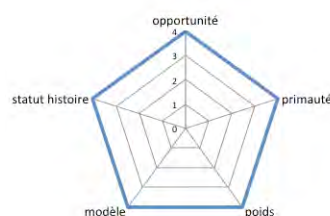
La plupart des compétences ont fait l'objet d'un accord facile. La compétence « gestion de la dissonance histoire/expérience » est celle sur laquelle il y a eu le plus de désaccords. L'interprétation plus ou moins "souple" d'un évaluateur à l'autre du palier 4 est à l'origine des difficultés. Elles ont été résolues après que les évaluateurs se sont accordés sur la nécessité pour les élèves de justifier explicitement l'impossibilité de l'histoire par la dissonance entre l'observation et ce qui se passe dans l'album pour validation du palier 4. Autrement dit, il ne suffit pas à un élève de dire que l'histoire n'est pas possible pour qu'il atteigne le palier 4, il faut qu'il le justifie en expliquant que ce qui se passe dans l'histoire ne se passe pas dans la classe.

2.4.2. Entretiens réalisés à un an d'écart

Quinze élèves de l'école de Biot (sept entretiens) ont été interviewés une année après leur premier entretien pour voir leur rétention des compétences sondées. Nous présentons ci-dessous en vis à vis les diagrammes de Kiviat correspondant aux entretiens réalisés à un an d'écart pour les mêmes élèves. Quand cela n'a pas été possible, les élèves de deux binômes ont été associés pour constituer un nouveau binôme. Les diagrammes des deux binômes d'origine sont alors présentés en vis à vis de celui réalisé l'année suivante.



A1



A1 Post

48. Il s'agissait de leur présenter des images de différents puits en leur demandant d'expliquer s'ils pouvaient être ou non utilisés pour simuler l'histoire.

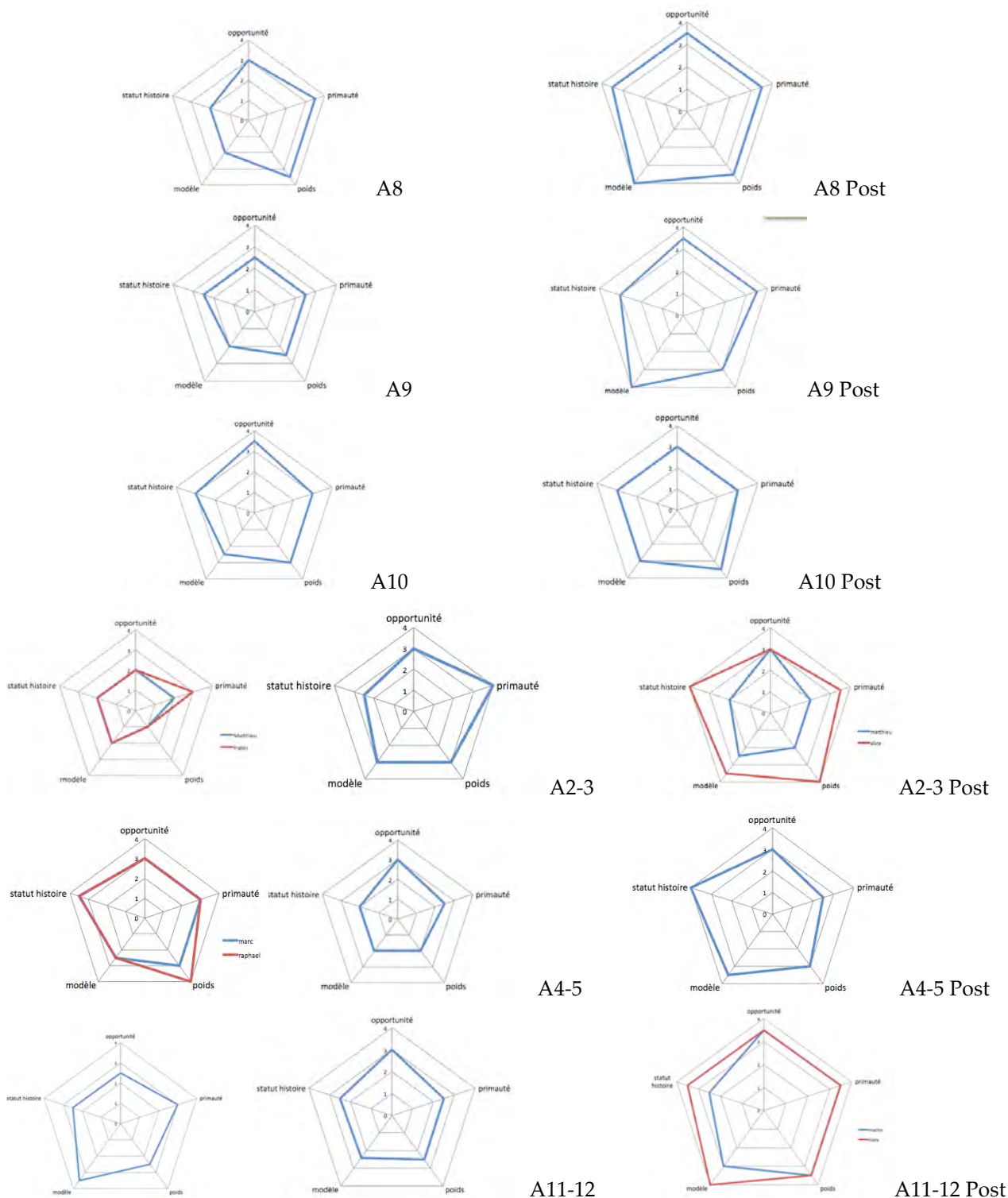


Figure 2.4.2. : Evolution des diagrammes de Kiviatt sur un an

La plupart des groupes sondés voient leur dimension “modélisation analogique” faire un saut vers les paliers hauts lors du second entretien. Leur rapport à la fiction évolue également favorablement (3 groupes sur 7 au palier 4).

Le passage de la grande section au CP modifie en profondeur le rapport des élèves à la lecture. Il peut les aider à accepter l’existence d’une physique différente dans les histoires et dans notre monde. Un an de plus permet

également aux élèves de mieux comprendre certaines questions du chercheur, de mûrir et développer leurs compétences.

L'évolution de la dimension "opportunité de la manipulation" est particulièrement intéressante. Plus d'un an après leur travail sur la séquence *Plouf!*, de nombreux élèves restent capables de justifier les manipulations réalisées l'année précédente sur simple demande du chercheur. Ils semblent donc s'appuyer sur leurs souvenirs pour répondre aux questions, même s'il est difficile de faire la part dans les réponses entre ce qui relève de compétences anciennes mobilisées et de compétences nouvellement acquises.

Au final, plus d'un an après le travail en classe, les élèves ont conservé leur niveau de compétence dans les différentes dimensions testées ou en ont acquis de nouvelles. Cette pérennité est encourageante. Le travail réalisé en grande section, par le biais de la fiction, sur des éléments de méthodologie scientifique semble donc susceptible de fournir des bases sur lesquelles pourront s'appuyer les enseignants des classes supérieures.

Ces compétences héritées par des élèves de CP de leur année de GS de maternelle ne semblent pas qualitativement très différentes de celles acquises en CP en vivant la même séquence à ce niveau (cf. Addendum 7).

2.4.3. Des compétences non triviales acquises durablement

Il semble donc non seulement établi qu'il est possible de travailler des éléments méthodologiques d'intérêt scientifique dès la grande section de maternelle, mais également que, si ce travail est correctement mené, de tels éléments sont durablement assimilables par les élèves.

Dans les classes de grande section que nous avons observées, il est donc établi qu'une part significative des élèves sont capables de mobiliser des compétences sophistiquées plusieurs mois et jusqu'à un an après un travail les invitant à construire ces compétences.

Si d'autres éléments que le travail spécifique sur *Plouf!* ont pu contribuer à l'acquisition de ces compétences, cette séquence paraît très appréciée par les élèves, qui s'en souviennent durablement, ainsi que de ses enjeux.

L'objet de cette section expérimentale, orientée vers l'accessibilité d'éléments de méthodologie par les petits, n'était pas d'évaluer systématiquement l'efficacité d'un support fictionnel, contrefactuel ou non, pour la "découverte du monde" à l'école maternelle. Des études complémentaires seraient en outre nécessaires pour savoir si la pérennité des résultats varient en fonction de l'histoire utilisée. On se gardera donc de toute généralisation sur ce point, et on laissera le dernier mot à Loris, 5 ans⁴⁹ :

Chercheur : — *Et c'est intéressant à ton avis de regarder si les histoires sont possibles ou pas ?*
Loris : — *oui*
Chercheur : — *pourquoi ?*
Loris : — *Parce que j'aime quand on fait cela.*

[binôme A1, ligne 122-125]

49. Annexe 7.A.a., retranscription A1.

7.3. Une approche anticipée de la modélisation scientifique

7.3.1. UN ENJEU MAJEUR AU COLLEGE

L'appropriation par les élèves de la notion de *modélisation* est un objectif explicite du programme de physique-chimie de collège.⁵⁰ Les élèves doivent s'y construire une « première représentation globale et cohérente du monde dans lequel ils vivent ». Le programme précise rapidement que :

« Les mathématiques fournissent des outils puissants pour modéliser des phénomènes et anticiper des résultats, en particulier dans le domaine des sciences expérimentales. »

et fournit l'exemple de la modélisation du mouvement des planètes comme une introduction à l'idée selon laquelle :

« Un modèle peut fournir une certaine représentation de la réalité ».

On sait toutefois que la modélisation scientifique pose de réelles difficultés à de nombreux collégiens. Parmi celles-ci, on peut en particulier identifier :

1/ *Des difficultés d'ordre mathématique, liées à la manipulation des outils formels et à leur aspect calculatoire.*

Celles-ci sont bien connues des enseignants du secondaire et même, dans une certaine mesure, du supérieur. Pour y pallier, une solution consiste à limiter l'emploi de modèles formels. C'est ce que propose implicitement le programme du collège, en restreignant l'usage de l'outil mathématique à des situations relativement élémentaires (e.g. en électricité, où les calculs demandés dépassent rarement la maîtrise de la simple proportionnalité).

2/ *Des difficultés d'ordre épistémologique, liées à de la compréhension même de la nature et du statut d'un modèle⁵¹.*

Jean-Louis Martinand n'hésite pas à parler à propos de la modélisation d'un des « pièges majeurs de l'enseignement » car « les adultes instruits ne se rendent pas compte que les apprenants ne "lisent" pas (ne "décrivent" pas) comme eux la "réalité" ». ⁵² De nombreux élèves de niveau collège ou lycée sont en effet convaincus que « les modèles ne sont guère plus qu'une copie ou une réplique directe de la réalité » ⁵³. L'intérêt pratique

50. Bulletin officiel spécial n°6 du 28 août 2008. Programmes du collège. Programmes de l'enseignement de physique-chimie, pp. 1 et 2. Accessible sur le site du Ministère de l'Éducation Nationale : <http://www.education.gouv.fr/cid22120/mene0817023a.html> (consulté août 2014)

51. Qu'on rencontre aussi parfois chez les enseignants eux-mêmes. Aucune étude n'est disponible pour les enseignants français, mais une étude a montré que la connaissance de ce qu'est la modélisation est faible chez des enseignants italiens du secondaire. Luciana Danusso, Italo Testa et Matilde Vicentini. « Improving Prospective Teachers' Knowledge about Scientific Models and Modelling : Design and evaluation of a teacher education intervention », *International Journal of Science Education*, 2010, vol. 32(7), pp. 871-905. Une autre étude portant sur 4 enseignants du primaire aboutit à la même conclusion aux états-unis : Valarie L. Akerson, J. Scott Townsend, Lisa A. Donnelly, Deborah L. Hanson, Praweena Tira, Orvil White, « Scientific Modeling for Inquiring Teachers Network (SMIT'N) : The Influence on Elementary Teachers' Views of Nature of Science, Inquiry, and Modeling », *Journal of Science Teacher Education*, 2009, vol. 20, pp. 21-40.

52. Jean-Louis Martinand, « Introduction à la modélisation » in *Actes de l'Université d'été Tecne*, E.N.S. Cachan, 6-10 juillet 1998. Accessible sur le site de l'INRP : <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/TicD.htm>

53. W. J. Pluta, C. A. Chinn et R. G. Duncan, « Learners' epistemic criteria for good scientific models ». *J. Res. Sci.*

de la modélisation, qui consiste à *simplifier* le problème physique considéré pour le rendre accessible à l'analyse, leur échappe donc en grande partie.⁵⁴

Au collège, et *a fortiori* au-delà, la pression des programmes limite les possibilités de traiter indépendamment ces deux types de difficultés, et en particulier de convaincre ceux des élèves qui ne l'ont pas encore perçu de l'intérêt pratique de la modélisation scientifique. La priorité y est donc souvent accordée à la maîtrise des outils formels.

Une approche pédagogique alternative pourrait alors être d'anticiper le travail proprement épistémologique en le reportant au moins en partie sur l'école primaire, voire en commençant à familiariser les élèves avec cette approche dès la grande section de maternelle.

7.3.2. TROIS COMPETENCES METHODOLOGIQUES FONDAMENTALES

La modélisation scientifique est avant tout une stratégie pour raisonner sur des systèmes trop complexes pour être analysés dans leur entièreté. Son application est très générale, dans la mesure où cela peut en pratique être le cas de tout problème faisant intervenir le monde physique.

L'élève qui met en œuvre cette stratégie scientifique doit donc être conscient du fait que les modèles simplifiés qu'il manipule ne sont pas directement identifiables à la réalité. Des aller-retours entre le modèle et la réalité physique qu'il représente sont indispensables pour en dériver un enseignement sur cette dernière. Par ailleurs cette « réduction opératoire »⁵⁵ passe presque inévitablement par la limitation du nombre de paramètres impliqués et donc par l'identification de paramètres pertinents ou non pour un problème donné.

La modélisation mobilise par conséquent au moins trois compétences méthodologiques fondamentales :

1/ Recul

Nous avons précédemment défini le *recul* comme la distinction entre le monde physique et ses représentations⁵⁶. Dans le cas de la modélisation, la conscience

Teach., 2011, vol. 48(5), pp. 486–511. DOI 10.1002/tea.20415. Ils s'appuient essentiellement sur deux études : celle de L. Grosslight, C. Unger, E. Jay et C.L. Smith, « Understanding models and their use in science : Conceptions of middle and high school students and experts ». *J. Res. Sci. Teach.*, 1991, vol. 28(9), pp. 799–822. DOI 10.1002/tea.3660280907 et celle de D. Treagust, G. Chittleborough et T. Mamiala, « Students' understanding of the role of scientific models in learning science ». *International Journal of Science Education*, 2002, 24(4), pp. 357–368.

54. C'est ce qui ressort également de la revue de littérature *Taking Science to School*, considéré comme un ouvrage de référence aux Etats-Unis : « Bien qu'ils connaissent certainement la différence entre un modèle et son référent, les enfants réfléchissent rarement à la distinction entre un modèle et le monde qu'il modélise. Par conséquent, ils montrent souvent une préférence pour des copies plutôt que des vrais modèles parce qu'ils tendent à résister aux représentations symboliques qui laissent de côté des informations, même si ces informations ne sont pas importantes pour l'objectif théorique considéré ». National Research Council. (2007). *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Richard A. Duschl, Heidi A. Schweingruber et Andrew W. Shouse, Editors. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, The National Academies Press, U.S.A., 2007. p. 76.

55. Dans le vocabulaire de Jean-Louis Martinand. « Introduction à la modélisation », op. cit., p. 4.

56. cf. section 5.3.1.3.1.

de cette distinction doit en outre inclure celle de la plus grande simplicité du modèle, qui le rend opératoire.

2/ Navigation entre modèle et système représenté

La validation d'un modèle scientifique suppose sa confrontation au système représenté ; en cas de dissonance, la *primauté* revient par construction à l'*expérience*. Par ailleurs, une application classique des modèles scientifiques consiste à prédire des phénomènes, la vérification de ces *prédictions* se déroulant également dans le monde physique.

L'élève doit donc être capable de naviguer à bon escient entre le modèle qu'il manipule et le système représenté.

La mise en œuvre pratique d'un modèle suppose en outre des compétences plus techniques. Même en faisant abstraction de celles d'ordre calculatoire, toute modélisation scientifique opératoire suppose au minimum une appropriation de la notion de *paramètre* :

3/ Identification et extraction de paramètres pertinents

L'élaboration d'un modèle simplifié à partir d'un système surabondamment complexe se traduit en effet presque inévitablement par l'extraction d'un nombre limité de paramètres jugés pertinents.

Elle suppose donc d'une part une compréhension de la *notion de paramètre* et une capacité d'évaluation de leur *pertinence* ; et d'autre part une capacité d'*élimination* (ou de renoncement à) des paramètres jugés non pertinents.

Par ailleurs, ces trois compétences nécessaires à toute modélisation scientifique ne seront spontanément mobilisées par les élèves que si ceux-ci sont conscients du fait que la modélisation est une *stratégie* efficace et ce dans des contextes variés (e.g. pour comprendre, prévoir, communiquer, expliquer, etc.⁵⁷).

Un corollaire de cette compréhension de la nature et de l'intérêt de la modélisation scientifique est donc la prise de conscience du fait que :

- un modèle relève de choix en partie arbitraires (pertinence des paramètres)
- plusieurs modèles différents peuvent légitimement coexister⁵⁸.

7.3.3. LA MODELISATION A L'ECOLE PRIMAIRE

3.3.1. Grande section de maternelle

Un résultat important du présent chapitre est que les trois compétences méthodologiques nécessaires à la modélisation scientifique sont accessibles, dans une certaine mesure au moins, dès la grande section.

57. Hamin Baeck, Christina Schwarz, Jing Chen, Hayat Hokayem et Li Zhan. « Engaging Elementary Students in Scientific Modeling : the MoDeLS 5th grade Approach and Finding ». *Models and Modeling*, 2011, vol. 6, pp. 195-218.

58. Une idée connexe est que tout modèle est limité et qu'on peut toujours développer un modèle plus sophistiqué mais elle semble difficile à systématiser au primaire.

1/ Recul

L'étude réalisée dans la section 8.2. avec des élèves de grande section à partir de la séquence *Plouf !* montre en effet que ceux-ci sont majoritairement capables de distinguer ce qui se passe dans l'histoire de ce qui se passe dans le monde réel.

Par ailleurs, une grande majorité des élèves de GS ayant travaillé sur les sabliers ou les transvasements (cf. 8.1.3.3.8.) se sont avérés capables d'associer une représentation symbolique très stylisée au phénomène représenté (e.g. un trait rouge pour représenter le niveau dans un sablier de grains de sable verts).

2/ Navigation entre modèle et système représenté

Lors du travail sur *Plouf !*, les élèves se sont en outre montrés capables de naviguer entre le monde diégétique (le puits de l'histoire) et le monde physique (un modèle analogique concret). Ils ont également accordé la primauté aux résultats de leurs expériences sur les événements décrits dans l'histoire.

La plupart d'entre eux étaient également capables d'évaluer la pertinence d'autres réalisations du puits de l'histoire parfois très différentes de la leur, en se focalisant sur les éléments pertinents à savoir la corde et la poulie.

Par ailleurs, une majorité des élèves ayant travaillé sur les transvasements ont montré qu'ils pouvaient faire correspondre des représentations symboliques de récipients plus ou moins remplis à des récipients réels et en tirer des prédictions sur les propriétés de ceux-ci.

3/ Identification et extraction de paramètres pertinents

Lors du travail sur *Plouf !*, une grande partie des élèves est parvenue à identifier les éléments-clé de la réalisation du puits de *Plouf* (corde et poulie) et à négliger certains éléments de l'histoire inutiles à la résolution du problème (comme l'eau par exemple).

Lors des interviews des élèves ayant travaillé sur les transvasements ou les sabliers, il leur a été demandé de prévoir ce qui se passerait si l'on modifiait légèrement un élément des expériences qu'ils avaient mises en place (test de la robustesse). Une très grande majorité s'est révélée capable de reconnaître comme tels des éléments non pertinents et d'indiquer en retour les éléments qu'ils jugeaient pertinents.

Aucun indice n'indique en revanche que ces élèves avaient identifié la modélisation comme une stratégie utilisable dans d'autres contextes. Notre intuition est qu'ils ne l'ont pas perçu, et se sont contentés de mener à bien l'activité proposée par le maître.

Soulignons enfin la polysémie du terme |modèle| qui pourrait s'avérer problématique à l'école maternelle. Le mot y est le plus souvent utilisé pour une chose (ou un comportement) qu'il s'agit de reproduire aussi fidèlement que possible (e.g. élève modèle, modèle graphique en écriture). Dans le cadre de cette étude, les enseignants ont spontanément préféré s'abstenir d'employer le terme de modèle avec leurs élèves.

3.3.2. École élémentaire

Les programmes de l'école élémentaire utilisent à quatre reprises le terme de modélisation (le terme de modèle n'intervient que dans l'acception de "norme à reproduire", dans le programme de français) :

- modélisation des mouvements respiratoires
- modélisation des mouvements de flexion
- modélisation du mouvement apparent du Soleil
- modélisation des phases de la Lune.

Progressivement, rencontrant et retrouvant ainsi des modèles de plus en plus sophistiqués, les élèves « prennent conscience que la construction d'un modèle est bien une activité de l'esprit »⁵⁹.

Les compétences méthodologiques de base associées à la modélisation ne semblent pas problématiques. Il ne fait en effet guère de doute que les mêmes compétences accessibles aux élèves de grande section de maternelle le sont *a fortiori* aussi aux élèves d'élémentaire, qui les approfondissent à mesure de leurs progrès.

1/ Recul

La capacité des élèves à distinguer le monde réel de ses représentations est rarement explicitement évoquée.⁶⁰ Elle paraît néanmoins assez consensuelle parmi les didacticiens des sciences en France. Le risque de confusion reste réduit pour la plupart des modèles analogiques effectivement mis en œuvre à l'école au cycle 3 — entre la Terre proprement dite et sa représentation par une boule de polystyrène, ou entre un bras et des morceaux de carton reliés par des élastiques, par exemple. Certains auteurs, comme Jean-Pierre Astolfi, recommandent l'emploi de modèles alternatifs.⁶¹

2/ Navigation entre modèle et système représenté

La construction des compétences liées à la navigation entre un modèle et le système qu'il représente ne semble pas non plus poser de problème de principe à l'école élémentaire. Ainsi, Jean-Michel Rolando indique-t-il dans des manuels destinés aux enseignants de cycle 3 que les élèves sont capables

59. « On voit comment les modèles apparaissent bien aux yeux des enfants comme une construction de l'esprit, ne devant pas se confondre avec la réalité décrite, mais pour autant non arbitraire, puisque l'échec d'une prédiction oblige à passer à un nouveau modèle. [...] Dans ces activités de modélisation ils prennent conscience que la construction d'un modèle est bien une activité de l'esprit, mais qu'elle doit suivre certaines règles de cohérence interne et de non contradiction avec les phénomènes observés. C'est pourquoi on peut dire qu'ils participent à l'une des activités primordiales de la science et qu'ils se préparent à mieux comprendre en quoi elle est un jeu libre de l'esprit tout en étant une soumission à l'expérience, à comprendre aussi en quoi elle n'est ni arbitraire, ni réplique exacte du réel. » Aster (éditorial), « Modéliser à l'école primaire ? », 1988, n°7, pp. 49-51.

60. Nous ne préjugeons pas ici des mécanismes complexes qui semblent rendre possible une confusion du même ordre entre un système physique et sa représentation mathématisée.

61. « Si l'on fait correspondre trop systématiquement, à une situation donnée, un modèle unique, le risque existe d'une confusion entre la réalité étudiée et la représentation hypothétique de cette réalité. C'est pourquoi, chaque fois que possible, on s'efforce de représenter une même réalité par des modèles alternatifs. [...] Le fait que le modèle ne représente pas fidèlement la réalité, mais qu'il constitue une construction conceptuelle comportant une part de gratuité et d'arbitraire se jugeant à ses fruits, devient alors envisageable par les élèves. ». Jean-Pierre Astolfi, Brigitte Peterfalvi et Anne Verin, *Comment les enfants apprennent les sciences ?* (1998), éd. Retz, Paris, 2006, p. 98.

d'associer un modèle analogique au système qu'il représente, sous réserve que « l'enseignant veille à ce que les élèves ne manipulent pas les maquettes comme des objets autonomes, sans lien avec la réalité qu'elles doivent représenter »⁶² et qu'il utilise un questionnement adapté explicite⁶³.

Les études réalisées par Christian Orange⁶⁴ en France avec des élèves de cycle 3 sur la respiration, la digestion et le mouvement du bras montrent que des élèves de cycle 3 sont capables de discuter la pertinence de différents modèles et de les modifier au besoin.

Jean-Claude Gentzling suggère également que des élèves de cycle 3 sont capables de comprendre qu'un système peut être représenté par plusieurs modèles différents⁶⁵.

3/ Identification et extraction de paramètres pertinents

Il semble acquis que les élèves en école élémentaire sont capables dès le CP d'identifier des paramètres pertinents. Cette identification est en effet à la base d'un très grand nombre de démarches d'investigation classiques.

Une étude américaine réalisée par Penner et al.⁶⁶ avec 19 élèves de CP (K-1) indique qu'une majorité des élèves s'approprie l'idée qu'un modèle⁶⁷ analogique sert à tester différentes explications en réponse à un problème et que la modélisation implique donc de confronter le modèle au réel. A notre connaissance, aucune autre étude n'interroge explicitement les élèves sur la façon dont ils considèrent la modélisation. Penner indique que plus de la moitié des élèves qu'il a sondés sont capables de comprendre qu'un modèle sert à tester différentes explications en réponse à un problème. Les résultats des études précisées ci-dessus suggèrent que les élèves de cycle 3 en sont également capables. Il semble en effet peu probable que des élèves qui évaluent et comparent la pertinence de différents modèles n'aient pas conscience qu'ils le font pour comprendre ou expliquer un phénomène.

Un travail spécifique pourrait donc conduire les élèves à ajouter la modélisation à leur arsenal stratégique.

62. Jean-Michel Rolando, Patrick Pommier, Marie-Laure Simonin, Guy Simonin, Jocelyne Nomblot, Jean-François Laslaz, Sylvain Combaluzier. *Sciences, Guide du maître cycle 3*, coll. Odysseo, éd. Magnard, 2010, p. 36.

63. « Qu'observes-tu sur la maquette ? Qu'est-ce que cela signifie dans la réalité ? » ; « Que se passe-t-il dans la réalité ? Comment peux-tu en rendre compte avec ta maquette ? ». *idem*.

64. Christian Orange, *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*, éd. De Boeck, Bruxelles, 2012.

65. Jean-Claude Gentzling a ainsi développé des activités pour des CM2 les aidant à prendre conscience « de l'idée de modèle en tant que représentation d'une réalité qui fait problème. Le caractère hypothétique de cette représentation apparaît dans le langage (nous imaginons, nous supposons,...) ; de la modélisation conçue comme une nouvelle méthode de travail impliquant à la fois la construction ou la mobilisation d'un modèle et son utilisation (on raisonne à partir des propositions fondant le modèle) pour établir la réponse au problème posé ; de ce qu'un même système peut être représenté par plusieurs modèles. Un modèle peut être éliminé au cours d'une nouvelle activité de résolution de problème. » p. 59. « Construire des méthodes à l'école élémentaire : la séparation des variables et la modélisation », *Aster*, 1991, n°12, pp. 39-60.

66. D. Penner, N. D. Giles, R. Lehrer, and L. Schauble, « Building functional models : Designing an elbow ». *Journal of Research in Science Teaching*, 1997, vol. 34(2), pp. 125-143.

67. Rapelons que le terme anglais |model| est un "faux-ami" : il traduit aussi bien les termes français de *modèle* que de *maquette*, cette dernière pouvant ou non constituer un modèle analogique du système représenté.

3.3.3. Une proposition de progression

La pression des programmes au collège limite les possibilités de faire prendre conscience à ceux des élèves qui ne l'ont pas encore perçu de l'intérêt pratique de la modélisation scientifique. Ce travail, on l'a vu, peut être anticipé à l'école primaire. Quel serait le bon moment pour le commencer ?

Si cette prise de conscience doit être acquise avant le collège, on pourrait être tenté de réserver ces considérations d'ordre épistémologiques au cycle 3, où la maturité des élèves est la plus grande. Ce n'est pourtant sans doute pas la période la plus pertinente. Des études réalisées avec des jeunes élèves suggèrent qu'il est souvent possible d'atteindre des compétences plus importantes chez eux lorsqu'on leur propose des activités familières⁶⁸ ou qui font sens⁶⁹. Or les modélisations analogiques que les programmes proposent typiquement d'aborder avec les élèves de cycle 3 posent des difficultés conceptuelles^{70,71} ou géométriques⁷² importantes. C'est en particulier le cas en physique, l'astronomie étant réputée comme un domaine difficile d'accès tant aux élèves qu'à leurs enseignants.^{73,74}

Il semblerait donc préférable de sensibiliser les élèves à la modélisation sur des contenus moins problématiques. Le cycle 2 pourrait s'avérer le bon moment. Un inconvénient majeur est cependant que c'est une période très chargée, où la priorité est donnée à l'apprentissage de la lecture, de l'écriture et du calcul.

Une meilleure solution serait sans doute de distribuer le travail sur la modélisation sur l'ensemble des années d'école primaire.

On pourrait ainsi commencer à travailler dès le cycle 1 les trois compétences méthodologiques avec les élèves, en s'appuyant par exemple sur des albums de fiction, sans chercher à expliciter l'intérêt de la modélisation en temps que stratégie.

68. Fouad Abd-El-Khalick, « Embedding nature of science instruction in preservice elementary science courses : Abandoning scientism, but... ». *Journal of Science Teacher Education*, 2001, vol. 12 (3), pp. 215-233).

69. *Taking Science to school* (collectif) ; op. cit., p. 77.

70. cf. Christian Orange, *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*, op. cit. pp. 53-59 pour la respiration et pp. 102-105 pour la flexion du bras. Voir aussi André Giordan, Gérard de Vecchi, *Aux Origines du Savoir*, op. cit., p. 58-63.

71. Voir par exemple Stella Vosnadiou et William F. Brewser, « Mental Models of the Day/Night cycle », *Cognitive Science*, vol. 18, pp. 123-183.

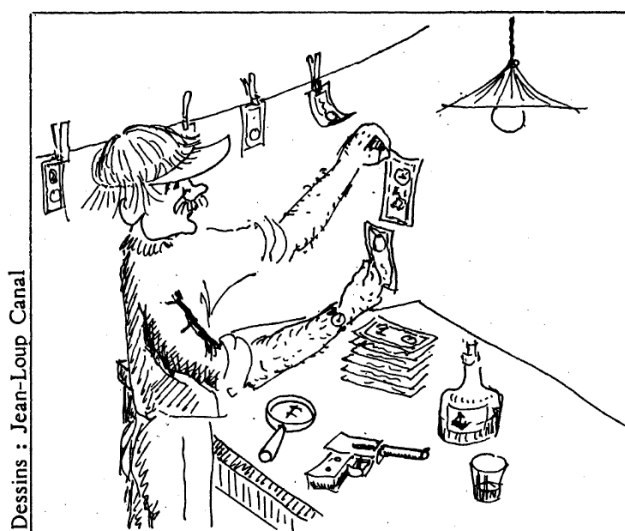
72. Si elle fait intervenir peu de calculs, la géométrie et singulièrement la géométrie dans l'espace pose des problèmes d'ordre mathématique spécifiques dès le cycle 3.

73. Voir par exemple M. Zeilik, C. Schau & N. Mattern « Misconceptions and Their Change in University-Level Astronomy Courses », *The Physics Teacher*, 1998, 36(1), p. 104.

74. En réponse à la question « Comment expliquer qu'il fait plus chaud en été qu'en hiver ? » posée à 207 enseignants du primaire des Alpes-Maritimes par le praticien-chercheur, 94 considèrent que c'est parce que la Terre est plus près du Soleil (45% des enseignants).

Au cycle 2, la plus grande « maturité » des élèves pourrait leur permettre de saisir qu'il y a de nombreux avantages à modéliser et que c'est une stratégie efficace. Cela peut se faire sans introduire explicitement la notion de modèle⁷⁵.

Au cycle 3, les enseignants pourraient introduire explicitement ce qu'est la modélisation et le fait que la modélisation est une stratégie efficace dans des contextes variés en s'appuyant sur tout le travail réalisé en amont. Les enfants de fin de cycle 3 pourraient s'approprier un nouveau sens du mot |modèle| à un âge où la polysémie des mots est une chose connue (et étudiée en cours de français) et où l'assimilation du modèle à une copie conforme n'est plus aussi prégnante que dans les petites classes où l'on recopie beaucoup.



En sciences, le modèle est toujours un peu faux par rapport à la réalité. Ici, seul le modèle est vrai ...

Figure 3.3.3. : Le modèle du scientifique n'est pas celui du faux-monnayeur⁷⁶

75. Certains chercheurs américains proposent cependant d'explicitier aux élèves dès le CP ce qu'est un modèle et quelles sont ses fonctions. C'est par exemple le cas de D. Penner, et al., « Building functional models : Designing an elbow ». *Journal of Research in Science Teaching*, op. cit.

76. Nous empruntons cette image à l'article de Jean-Loup Canal, « De l'interrupteur au relais électronique, du relais électromagnétique au transistor », *Aster*, 1998, n°7, p. 89.

7.4. Retours d'enseignants de maternelle

7.4.1. HIERARCHISATION SPONTANEE DES ELEMENTS DE SCIENTIFICITE

On a vu que les jeunes élèves étaient capables dès la grande section de mettre en œuvre des compétences associées à la primauté de l'expérience, à la robustesse, à la reproductibilité (§ 7.1) ainsi qu'à l'exploitation du spectre de généralité et au recul (§ 7.2). D'autres éléments de scientificité, présumés trop abstraits ou trop difficiles pour être abordés en maternelle, avaient été écartés de cette étude (section 7.1.5.).

Pour tenter de conforter *a posteriori* cette hypothèse, il a été demandé à 25 enseignants de maternelle expérimentés, de la petite (PS) à la grande section (GS),⁷⁷ d'évaluer l'accessibilité en cycle 1 de différents éléments de scientificité, parmi lesquels ont été volontairement inclus des éléments précédemment écartés (en italiques) :

- primauté de l'expérience
- reproductibilité
- robustesse
- recul
- *non scolasticité*
- *cohérence lexicale*
- *économie*
- *exhaustivité d'une loi.*

Ces huit éléments de scientificité ont été introduits explicitement comme un nouvel outil, encore expérimental, pour l'enseignement des sciences lors d'une formation de 6 heures. En fin de formation, il a été demandé aux participants de les classer du plus facile au plus difficile à mettre en œuvre dans leur classe.

Tous ont accepté l'exercice, mais la plupart ont pris la liberté de ne pas intégrer certains éléments de scientificité à leur classement, ce qui, *a contrario*, est également significatif.

On constate qu'une nette majorité d'enseignants classent la *reproductibilité*, la *primauté de l'expérience* et la *robustesse* parmi les éléments les plus faciles à intégrer à leur pratique, alors qu'ils sont moins de 20% à les omettre (aucun pour la reproductibilité). Inversement, une majorité omet *l'économie* et *l'exhaustivité*, alors que ceux qui les classent les placent parmi les plus difficiles à intégrer. (Figure 7.4.1.)

La hiérarchisation spontanée de ces éléments de scientificité par les enseignants apparaît donc en bonne adéquation avec notre hypothèse de travail.

77. Identifiés comme le groupe 52 dans le chapitre méthodologie. Moyenne d'âge : 48,5 ans ; ancienneté moyenne : 25 années ; 7 enseignants ont en charge des PS, 4 des MS, 5 des GS et 9 ont des niveaux multiples (PS/MS et MS/GS).

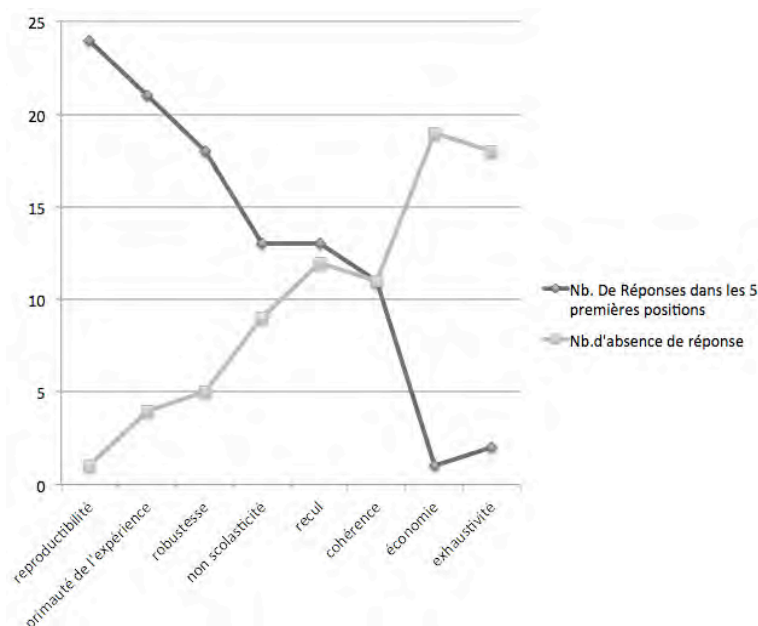


Figure 7.4.1. : Nombre d'enseignants classant dans leurs cinq premiers choix (losanges) ou ne les classant pas (carrés) les éléments de scientificité indiqués en abscisse. Nombre total de réponses : 25

On constate toutefois, entre ces éléments de scientificité clairement présumés soit adaptés, soit inadaptés aux élèves de maternelle, une réaction moins homogène à propos d'éléments en quelque sorte intermédiaires : la *non-scolasticité*, la *cohérence* et le *recul*. Environ la moitié des enseignants les intègrent parmi les cinq premiers de leur classement, alors qu'une proportion équivalente les omet entièrement. Une étude plus approfondie serait sans doute nécessaire pour interpréter ce positionnement mitigé.

Des arguments de nature assez différente semblent en effet intervenir ici, si l'on en juge par ceux offerts à propos des éléments de scientificité "accessibles" (cf. *infra*, § 7.4.2).

- Leur estimation de la capacité des très jeunes élèves à se les approprier. L'omission pure et simple, et très majoritaire, de l'économie et de l'exhaustivité suggère que ces éléments de scientificité sont perçus comme trop abstraits pour des élèves de maternelle. L'évidence apparaît moins nette pour les éléments intermédiaires.⁷⁸
- Leur moindre familiarité avec certains de ces concepts. Là où la primauté de l'expérience apparaît souvent limpide aux enseignants (*Comment savoir ? On essaie !*), le recul ou l'économie, par exemple, peuvent apparaître moins intuitifs.
- Des contraintes de type pédagogique. Ainsi, à l'école maternelle, l'enseignant est la figure d'autorité par excellence. La promotion de la non-scolasticité implique une remise en cause de sa relation aux élèves qui peut être délicate à négocier, et à délimiter.

78. On peut noter que la formation suivie par ce groupe n'incluait pas d'étude systématique de séquences utilisant la fiction, sur lesquelles nous avons largement fait reposer l'acquisition de compétences liées au recul par les petits. C'était en revanche le cas pour les autres groupes considérés dans la section § 8.4.2

- L'élargissement des compétences d'ordre scientifiques par d'autres objectifs de formation. Ainsi, la maîtrise du discours et de sa cohérence est un objectif très général du cycle 1.

Les critères de scientificité ont par ailleurs été présentés à un inspecteur de l'éducation nationale (I.E.N. chargé de la mission maternelle) et à sept conseillers pédagogiques (commission maternelle) lors d'un atelier⁷⁹ organisé par l'inspection académique sur l'enseignement des sciences en maternelle. De même que pour les enseignants, ce sont les critères de primauté de l'expérience et de reproductibilité qui ont été jugés les plus accessibles aux enfants par les conseillers pédagogiques. Suite à l'atelier, la commission maternelle a déposé sur le site de l'inspection académique un article à destination des enseignants de maternelle dans lequel ils sont explicitement précisés comme outil pour favoriser la mise en œuvre de démarches d'investigation scientifiques⁸⁰.

7.4.2. PERCEPTION DE L'UTILITE DES ELEMENTS DE SCIENTIFICITE

Il a par ailleurs été demandé à 88 enseignants de maternelle s'ils jugeaient les éléments de scientificité utiles pour leur pratique, et en quoi. Aux 25 déjà cités s'ajoutaient 63 autres enseignants⁸¹ ayant quant à eux été sensibilisés à la *primauté de l'expérience*, à la *reproductibilité*, à la *robustesse*, à l'*exploitation du spectre de généralité* et au *recul* (mais non aux éléments de scientificité présumés inaccessibles à ce niveau).

La quasi-totalité des enseignants interrogés (87 sur 88)⁸² considère que ces éléments de scientificité leur seront utiles pour leur pratique (Figure 7.4.2)

Parmi eux, 69 sur 88 expliquent en quoi ces éléments de scientificité seront utiles dans leur pratique, les autres indiquent juste qu'ils leur seront utiles. Ce taux de retour de 78 % apparaît exceptionnellement élevé.⁸³ Les réponses et commentaires complets des enseignants se trouvent en annexe 7.C et 7.D.

Les applications évoquées concernent la préparation, la mise en œuvre et l'évaluation de leurs séquences. Ils sont également nombreux à y voir un cadre de référence utile pour leur pratique. Enfin, certains les considèrent comme un outil pour réfléchir sur leur pratique passée et future. (Figure 7.4.2)

79. Février 2012. Le praticien-chercheur y était invité à animer l'atelier, au titre de formateur sciences de l'IUFM.

80. « Comment peut-on savoir si l'on « fait des sciences ou pas » avec des élèves de maternelle ? ».

Article accessible sur le site de l'inspection académique des Alpes-Maritimes : <http://www.ac-nice.fr/ia06/preelem/articles.php?lng=fr&pg=47&ppt=2> (consulté août 2014)

Eléments méthodologiques précisés dans l'article : mise à l'épreuve systématique des opinions ; primauté de l'expérience quand il y a un conflit entre ce que l'on dit et ce que l'on voit ou fait ; justification ; répétition des activités pour s'assurer de leur reproductibilité ; travail sur le questionnement, la formulation et la reformulation.

81. Identifiés comme les groupes 59, 60, 61 et 62 dans le chapitre méthodologie.

82. Une enseignante (PS, gr. 61) estime toutefois que : « Non, me semble compliqué pour des petits sauf pour des enfants d'exception ! ».

83. Une large majorité des enseignants a en effet pris le temps de répondre et de commenter (45 enseignants sur les 60 auxquels cela avait été explicitement proposé) alors que leur formation était formellement achevée et qu'ils étaient libres de partir. Ce type de sollicitation suscite couramment moins d'enthousiasme.

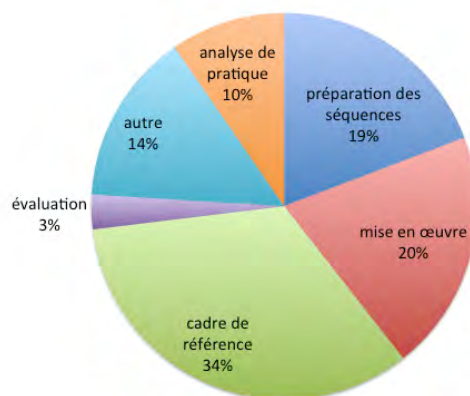


Figure 7.4.2. : Poids relatif des différentes utilisations envisagées par les enseignants de maternelle (100% = 104 éléments de réponse ; une réponse peut impliquer plusieurs éléments).

Préparation des séquences (20 enseignants sur 69)

Les éléments de scientificité enrichissent la gamme des questions que se posent l'enseignant dans sa préparation et lui évitent d'aller trop vite au résultat voulu avec les élèves. Les enseignants se proposent souvent d'utiliser les éléments de scientificité comme "pense-bête" ou comme "cadre de référence".

Exemples de formulations :

- « Ces critères me permettent de me poser davantage de questions avant de réaliser mes séances. »
- « Oui, pour préparer mes séquences et éviter de griller des étapes (généralisation, extrapolations abusives... »
- « Oui, les critères proposés me seront utiles pour essayer les sciences. Ils vont me permettre d'éviter au maximum les cours magistraux et de faire plus d'expériences »
- « Très utiles pour la pratique par le biais d'une démarche à suivre et des bonnes questions à se poser avant de mettre en place certaines expériences (est-ce que j'ai tout envisagé, que puis-je encore proposer?). »
- « Oui, utiles. Permettent de bâtir une séance correcte au niveau de la démarche scientifique. »⁸⁴

Régulation de la mise en œuvre (21 enseignants sur 69)

Les enseignants considèrent que cet outil les aide à gérer et structurer ce qui se fait en classe voire, pour certains, à aller plus loin dans leur mise en œuvre.

Exemples de formulations :

- « Ces critères vont m'être utiles pour mieux conduire mes démarches scientifiques auprès des enfants et respecter les étapes de l'expérimentation. »
- « Oui, pour une rigueur scientifique, pour définir ou valider des expériences. »
- « Critères présentés utiles pour réfléchir et mettre en place une réelle démarche scientifique. »
- « Ces critères sont utiles pour mettre en place des séances pertinentes avec un réel intérêt scientifique. »
- « Ces critères vont m'être très utiles car ils vont me permettre de conduire des expériences sans brûler d'étape ou d'imposer des lois/conclusions aux élèves. »
- « Les CS me seront utiles je pense pour déjà mieux cadrer ce que je pourrai mener comme expérience et comment car je n'en avais qu'une idée assez floue. Je ne pensais pas par exemple à la reproductibilité ou à la robustesse. »

84. Respectivement enseignantes de PS-GS (gr. 59), de PS (gr. 59), de GS (gr. 62), et de PS (gr. 52).

« Les différents critères proposés me semblent très utiles dans ma pratique car souvent je pense plus aux résultats qu'à la façon d'expérimenter. Plus, certaines questions restent fermées de mon fait. »⁸⁵

Evaluation de la séquence mise en œuvre (3 enseignants sur 69)

Les éléments de scientificité sont utilisés pour évaluer une séquence réalisée et la modifier au besoin.

Exemples de formulations :

« Oui car cela donne un cadre référent avant/pendant/après le travail. Cela évitera ma tendance à naviguer au feeling qui n'est pas toujours productrice de rationalité. »

« Utilité des critères : déjà prendre du recul sur mes démarches antérieures, pour reconstruire mes séances surtout par rapport à la robustesse. »

« Ces critères me semblent pertinents pour évaluer ma "conduite" de l'expérience et sa rigueur scientifique. »⁸⁶

Cadre de référence (35 enseignants sur 69)

Plus de la moitié des enseignants font référence aux éléments de scientificité comme un outil pour cadrer leur pratique. Ils les voient comme des points de repère ou un fil conducteur.

Exemples de formulations :

« Oui, avoir des repères et m'assurer que je suis bien dans une démarche scientifique. »

« Oui, ossature de la démarche à suivre. »

« Les critères me semblent pratiques -> permettent d'avoir un référentiel pour avoir une attitude scientifique. »⁸⁷

Utilisation pour l'« analyse de pratique » (10 enseignants sur 69)

Plusieurs enseignants voient dans les éléments de scientificité un outil pour réfléchir sur leur pratique et prendre du recul.

Exemples de formulations :

« Les critères sont utiles car ils permettent de prendre du recul en tant qu'enseignant sur notre pratique d'avant la concertation. Peut-être qu'auparavant les savoirs à l'issue de mes séances n'étaient pas bien acquis, de plus les élèves acquièrent une méthodologie. »

« Oui, pour rendre plus claire ma pratique. »⁸⁸

Les enseignants de maternelle envisagent donc des utilisations variées et, pour la plupart, pertinentes de l'outil proposé⁸⁹.

85. Respectivement enseignantes de MS (gr. 59), de GS (gr. 52), de GS, (gr. 59), de MS-GS (gr. 61), de GS (gr. 59), de PS-MS (gr.59) et de PS (gr. 52).

86. Respectivement enseignantes de PS (gr. 59), de MS (gr. 59) et de PS (gr. 52).

87. Respectivement enseignantes de MS-GS (gr. 59), de MS (gr. 52) et de PS (gr. 52).

88. Respectivement enseignante de PS-MS (gr. 59, 1^{re} citation) et de MS-GS (gr. 59, 2^e cit.).

89. Il a également été demandé aux enseignants de ne pas hésiter dans leurs commentaires à faire part de leurs impressions sur la formation. Très majoritairement, ils ont porté sur le plaisir et l'intérêt d'un travail avec des albums jeunesse. Seuls deux commentaires (sur 45) portent sur les éléments de scientificité : l'un d'une enseignante un peu inquiète de ne pas les avoir bien compris et l'autre insistant sur l'importance pour elle du recul. L'insertion d'éléments épistémologiques dans la formation est donc bien vécu par la plupart des enseignants qui y voient un intérêt pour leur pratique.

Cette évaluation par les enseignants est en accord avec les objectifs visés par l'introduction des critères de scientificité en formation.

Les critères de scientificité semblent donc constituer un outil bien perçu par les enseignants, y compris au niveau de la maternelle.

7.4.3. PERCEPTION PAR LES ENSEIGNANTS DE PETITE SECTION

Parmi les 88 enseignants interrogés, 39 ont des élèves en petite section (classes de PS ou mixtes : PS/MS ou PS/GS). Parmi ceux-là, 25 ont expliqué en quoi les éléments de scientificité seraient utiles à leur pratique. Le taux de retour des enseignants de PS ne se démarque donc pas notablement de celui des autres niveaux de classe (64% vs. 78%).

On trouve les mêmes les applications évoquées que pour les autres niveaux de classe (préparation, mise en œuvre, évaluation des séquences, cadre de référence et outil de réflexion sur leur pratique). Elles sont également représentées dans des proportions proches de celles de l'ensemble des enseignants (Figure 7.4.3.).

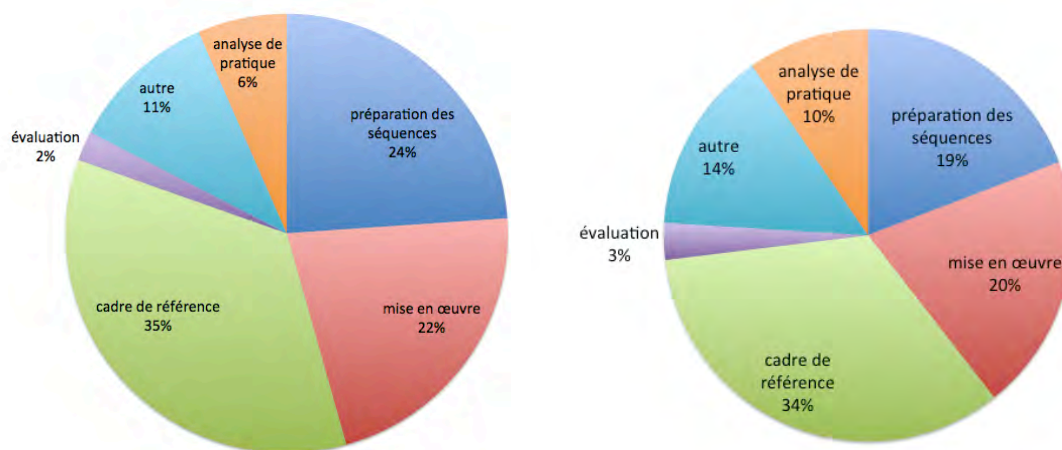


Figure 7.4.3. : Distribution des applications envisagées par les enseignants de petite section (à gauche, 100% = 46 éléments de réponse) et de l'ensemble des niveaux de classe de maternelle (à droite, 100% = 104 éléments de réponse).

Les enseignants de maternelle sont proportionnellement aussi nombreux en petite section que dans les autres niveaux à envisager d'utiliser cet outil pour construire et mener leurs séquences. Les élèves de petite section ne sont donc pas perçus par leurs enseignants comme moins capables que leurs camarades plus âgés au regard des compétences envisagées.

Au final, au contraire des compétences de fond, l'âge de leurs élèves ne semble pas influencer significativement l'utilisation des éléments de méthodologie scientifique envisagée par les enseignants de maternelle.

7.5. Définitions spontanées de la science chez les élèves de cycles 2 et 3

Des études assez détaillées portent sur les représentations, archétypales ou non, du *scientifique* par les élèves.⁹⁰ On dispose en revanche de beaucoup moins d'éléments sur leurs représentations de la *science* proprement dite. Par surcroît, la plupart ne portent pas sur la place de la *méthodologie* scientifique dans ces conceptions, qui nous intéressent plus particulièrement ici. Les études sur la compréhension de la "nature de la science" (NoS), majoritairement anglo-saxonnes, portent en effet surtout sur l'accord entre les représentations des élèves et les caractéristiques de la science similaires à celles proposées par N.G. Lederman,⁹¹ par exemple (approches "top-down").

Plus spécifiquement encore, on ne trouve que quelques rares publications consacrées à l'étude de ces représentations chez les jeunes élèves de l'école primaire. « *Nous n'avons pas été en mesure de trouver la moindre étude au niveau des classes élémentaires inférieures* », constatait même en 2005 une revue assez exhaustive de la littérature disponible⁹² ; la même n'identifiait que deux articles portant sur des élèves entre 11 et 12 ans (*grade 6*), et aucun en-deça. Depuis, à notre connaissance, seules deux nouvelles études, d'ampleur assez limitée, sont parues : l'une américaine (Akerson⁹³, 9 élèves de CP, 8 de CE1 et 1 de GS) et l'autre irlandaise (Murphy⁹⁴, 104 élèves entre 8 et 11 ans).

On sait donc peu de choses sur les représentations de la science des jeunes élèves de l'école élémentaire (cycles 2 & 3). L'expérience des Jardins des sciences nous permet toutefois de supposer que, si les enfants sont capables de s'approprier des éléments de méthodologie concrets, ils ne les associent pas encore spontanément à la "science", concept encore très abstrait pour eux.

Présentation de l'enquête

Pour tenter de fonder cette intuition, nous avons au total interrogé 1113 élèves de l'école élémentaire, du CP au CM2, sur plusieurs questions spécifiques.

Les questions « *C'est quoi faire des sciences pour toi ?* » et « *Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?* »⁹⁵ ont ainsi été posées à 605 élèves de cycle 2 et 3 venant de participer à

90. Voir par exemple David Wade. « Draw-a-scientist ». *Science Education*, vol. 67 (2), pp. 255-265.

91. Norman G. Lederman & al. « Views of Nature of Science Questionnaire : Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science ». *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 39, n°6, p. 502 (2002).

92. V. Akerson & F. Abd-El-Khalick, « « How should I know what scientists do? — I'm just a kid » : Fourth-Grade Students' Conceptions of Nature of Science ». *Journal of Elementary Science Education*, 2005, vol.17 (1), pp. 1-11.

93. Valarie Akerson & Lisa A. Donelli. « Teaching Nature of Science to K-2 Students: What understandings can they attain ? ». *International Journal of Science Education*, 2009, vol.32 (1), pp. 97-124.

94. Cliona Murphy, Colette Murphy & Paula Kilfeather. Children making sense of science. *Research in Science Education*, 2011, vol. 41, pp. 283-298. DOI 10.1007/s11165-010-9165-6

95. Cette question faisait suite à plusieurs autres leur demandant s'ils avaient fait des sciences sur le jardin des sciences (ou en classe pour les élèves non participants) et quelle activité ils avaient préférée. Ces questions introductives évitent que les élèves soient mis en difficulté par une question d'apparence trop générale (fournir un contenu de caractère familier favoriserait la réussite à une question, voir par exemple Abd-El-Khalick, F. « Embedding nature of science instruction in preservice elementary science courses : Abandoning scientism, but... ». *Journal of Science Teacher Education*, 2001, vol. 12 (3), pp. 215-233).

un Jardin des sciences ainsi que, à titre comparatif, à 30 élèves de CM2 n'ayant pas participé à un jardin des sciences.

La question « *C'est quoi faire des sciences pour toi ?* » a été également posée à 478 autres élèves de cycle 2 et 3 venant de participer à un Jardin des sciences dans le cadre d'un questionnaire testant leur rapport à la primauté de l'expérience (cf. chapitre 4).

	Mouans JDS 2013 (Q1 & Q2)	Mouans JDS 2011 (Q1)	Nice Flore JDS 2013 (Q1 & Q2)	Cagnes JDS 2010 (Q1)	Auber 2013 (pas de JDS) (Q1 & Q2)	Nb. total d'élèves
CP	146		22	58		226
CE1	129		19	21		169
CE2	94	68		71		233
CM1	48	94	14			156
CM2	125	120	8	46	30	329
total	542	282	63	196	30	1113

Tableau 7.5.1.a. : Répartition par niveau de classe des élèves ayant répondu aux questions « C'est quoi faire des sciences pour toi ? » (Q1) et « Comment sais-tu que tu as fait des sciences ? » (Q2).

En tout, 2148 éléments de réponse ont été identifiés parmi les réponses collectées.⁹⁶ Un élément de réponse est une phrase, un morceau de phrase ou un verbe que nous isolons pour son caractère significatif (cf. chapitre 4).

Les réponses peuvent être assez élaborées et contenir plusieurs éléments distincts.⁹⁷ On constate que le nombre d'éléments de réponse par élève augmente, logiquement, avec le niveau de classe (Tableau 8.5.1.b.).

	CP	CE1	CE2	CM1	CM2	Total
Nb. d'éléments de réponse à la question « <i>C'est quoi faire des sciences pour toi ?</i> »	250	191	279	245	515	1482
Nb. d'élèves	226	169	233	156	329	1113
Rapport Nb. d'éléments de réponse/ Nb. d'élèves	1,11	1,13	1,20	1,58	1,58	1,33
Nb. d'éléments de réponse à la question « <i>Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?</i> »	170	138	103	66	189	666
Nb. d'élèves	168	148	94	62	163	635
Rapport Nb. d'éléments de réponse/ Nb. d'élèves	1,01	0,93	1,10	1,06	1,16	1,05

Tableau 7.5.1.b. : Evolution du rapport entre le nombre d'éléments de réponse fournis et le nombre d'élèves interrogés en fonction du niveau de classe.

De nombreuses éléments de réponse s'avèrent similaires et il est relativement aisé de dégager une typologie des réponses. Les catégories proposées seront détaillées dans les sections suivantes. Les plus fréquentes sont présentées dans le tableau 7.5.1.c.

96. Soit 1482 éléments pour 1113 élèves en réponse à la question « *C'est quoi faire des sciences pour toi ?* » ; 666 pour 635 élèves pour la question « *Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?* ».

97. La réponse « *Faire des expériences et apprendre de nouvelles choses* » fournie par une élève de classe de CM1 (jardin des sciences de Mouans-Sartoux, juin 2011) est ainsi comptabilisée trois fois : une première fois dans la catégorie "faire des expériences", une seconde dans la catégorie "apprendre" et une troisième dans la catégorie "nouvelles choses".

<i>C'est quoi faire des sciences pour toi ?</i>	<i>Typologie des réponses</i>	<i>Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?</i>
28%	Faire des expériences	18%
24%	Apprendre	5%
24%	Plaisir	3%
17%	Découvrir, explorer, nouvelles choses	2%
8%	Association à des activités du jardin des sciences	15%
8%	Vérifier, essayer, tester, chercher, trouver, prouver, comprendre	8%
5%	Référence au contenu scientifique (e.g. l'électricité)	5%
2%	Autoréférence (e.g. <i>faire des choses scientifiques</i>) / <i>parce que c'est un jardin des sciences</i>	26%
0	Appel à l'autorité (e.g. <i>c'est la maîtresse que l'a dit, c'est écrit sur le cahier</i>)	7%
9%	Je ne sais pas	11%

*Tableau 7.5.1.c. : Distribution par types des éléments de réponse fournis par les élèves.
(la somme des pourcentages dépassent 100%, une même réponse pouvant contenir plusieurs éléments)*

On tentera d'abord d'évaluer, dans la section 7.5.1., la part des références à la méthodologie dans la conception de la science de ces élèves. Les sections suivantes procéderont ensuite, à titre documentaire, à une première analyse un peu plus générale des réponses des élèves. Les données brutes sont par ailleurs disponibles en annexes 7.E.a. et 7.E.b.

7.5.1. UNE CORRELATION FAIBLE ENTRE SCIENCE ET METHODOLOGIE

Conformément à notre intuition initiale, *les élèves du primaire ne semblent pas incorporer spontanément d'éléments méthodologiques dans leur conception de la science*. Sur plus de mille réponses, ceux-ci ne sont en effet évoqués que deux fois, par des élèves de CM2.

La première de ces réponses singulières est explicite :

« J'ai fait des sciences parce qu'il y avait une méthode et une explication scientifique. »⁹⁸

La seconde, qu'on peut être tenté d'interpréter en termes de primauté à donner à l'expérience en cas de dissonance, est déjà plus indirecte :

« Faire des expériences pour vérifier si on a juste. »⁹⁹

L'absence de référence à des éléments d'ordre méthodologique n'est *a priori* pas systématiquement liée à leur méconnaissance par les élèves, dans la mesure où l'on sait par ailleurs que les populations d'élèves sondées sont majoritairement capables dès la maternelle de mobiliser des éléments méthodologiques quand on le leur demande.

98. garçon, 10,5 ans ; élève de CM2, jardin des sciences de Mouans-Sartoux/Peymeinade, juin 2013. Notons qu'il n'y a aucun moyen de savoir si cette formulation, qui serait recevable en l'état de la part d'un adulte, témoigne d'une maturité intellectuelle précoce chez cet élève, ou s'il se contente de répéter une définition entendue ailleurs.

99. élève de CM2, jardin des sciences de Mouans-Sartoux, juin 2011.

On peut noter cependant, chez environ 8% des élèves, l'utilisation de mots qui associent les sciences au fait d'*essayer*, de *vérifier* ou de *comprendre*. Cette proportion est pratiquement identique pour les deux questions posées. La formulation des réponses reste néanmoins le plus souvent réduite à sa plus simple expression (e.g. « *C'est essayer.* ») ce qui limite leur portée et surtout celle de leur interprétation. On peut penser que ces élèves sont sensibles à certaines caractéristiques de la démarche scientifique même si elles restent élémentaires.

Faire des sciences : c'est faire des expériences !

28% des élèves emploient en revanche l'expression « *faire des expériences* ». Même si nous n'avons pas enquêté sur le sens exact qu'attribuent les enfants à cette expression, qui peut s'avérer assez différente de l'idée que s'en font les scientifiques,¹⁰⁰ elle semble véhiculer une image très positive pour les jeunes élèves.

La plupart apprécie le fait même de manipuler. Pour reprendre la formule d'une élève :

« C'est amusant et ça change des maths et du français. »
(fille, 11 ans, CM2, Jardin des sciences de Mouans-Sartoux / Peymeinade 2013)

7.5.2. UNE APPROPRIATION TRÈS MAJORITAIRE DE LA PRIMAUTE DE L'EXPÉRIENCE

« Tu es sur un atelier et au moment où tu te poses une question, un grand du collège arrive. Il te dit que lui sait parce qu'il est très fort en science. Un autre arrive et lui dit, mais non, ce n'est pas comme tu dis parce que moi j'ai essayé et cela se passe comme cela. Qui crois-tu ? Explique pourquoi. Lequel des deux est le plus scientifique ? »

Ces deux questions visant à sonder le rapport des élèves à un pur argument d'autorité ont été posées aux 478 élèves, du CP au CM2, ayant participé aux Jardins des sciences de Mouans-Sartoux 2011 et Cagnes-sur-Mer 2010, dans le cadre d'un questionnaire plus étendu (cf. chapitre 4.2.2.).

Aucun des 21 élèves de CE1 n'a répondu aux questions posées.¹⁰¹ Ce niveau est donc exclu du traitement des données.

Sur les 457 réponses que nous retenons ici, seuls 10 élèves (2%) croient le « grand du collège très fort en sciences ».

349 élèves sur 457 (76%) accordent la primauté à l'expérience : ils croient celui qui dit avoir essayé (69%), ou personne car ils souhaitent essayer eux-mêmes pour savoir (7% — réponse spontanée, non suggérée par l'énoncé).

Sept autres élèves (1%) ne croient aucun des deux élèves ou croient les deux pour "éviter une dispute" ou de "faire de la peine".

100. Martine Szterenbarg souligne la méconnaissance des collégiens « *sur ce qu'est une expérience scientifique* ». Martine Szterenbarg, « *Élaborer l'idée d'expérience* », *Aster* n°12, 1991, pp. 75-84. Il est probable qu'il en aille *a fortiori* de même d'élèves plus jeunes de l'école primaire. L'un des élèves interrogés affirme par exemple : « *on a appris des choses qu'on ne savait pas et on dit que c'est des expériences* » (fille, 10 ans, CM2, Jardin des Sciences de Mouans-Sartoux 2013).

101. Nous supposons que les élèves de CE1 ont pu être effrayés par la longueur de la question. De nombreux élèves de CE2 n'ont pas non plus répondu à la première question (34%). On dispose en revanche des réponses des élèves de CP, auxquels leur enseignant a lu le questionnaire pour en faciliter la compréhension. On peut supposer que l'enseignante de CE1 n'a pas jugé cette précaution utile.

Le reste des élèves (21%) ne répond pas (17%) ou fournit une réponse non pertinente (4%).

Les figures 7.5.2.a. & b synthétisent ces résultats tous niveaux de classes confondus (a) puis par niveau de classe (b).

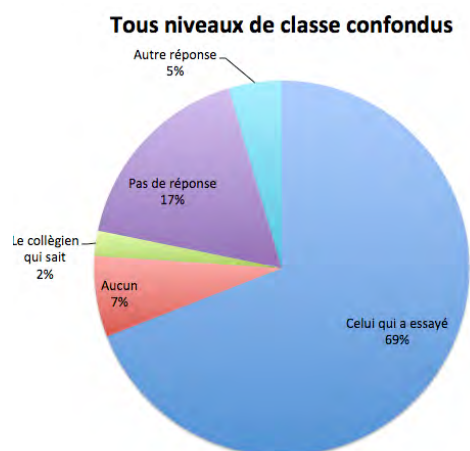


Figure 7.5.2.a. : Distribution des réponses des élèves à la question « Qui crois-tu ? », tous niveaux confondus (sauf CE1)

Suivant les niveaux de classe, entre 80 et 95% des élèves ayant répondu qu'ils croyaient le second enfant justifient leur réponse par le fait qu'il a *essayé* (ou *fait l'expérience*).

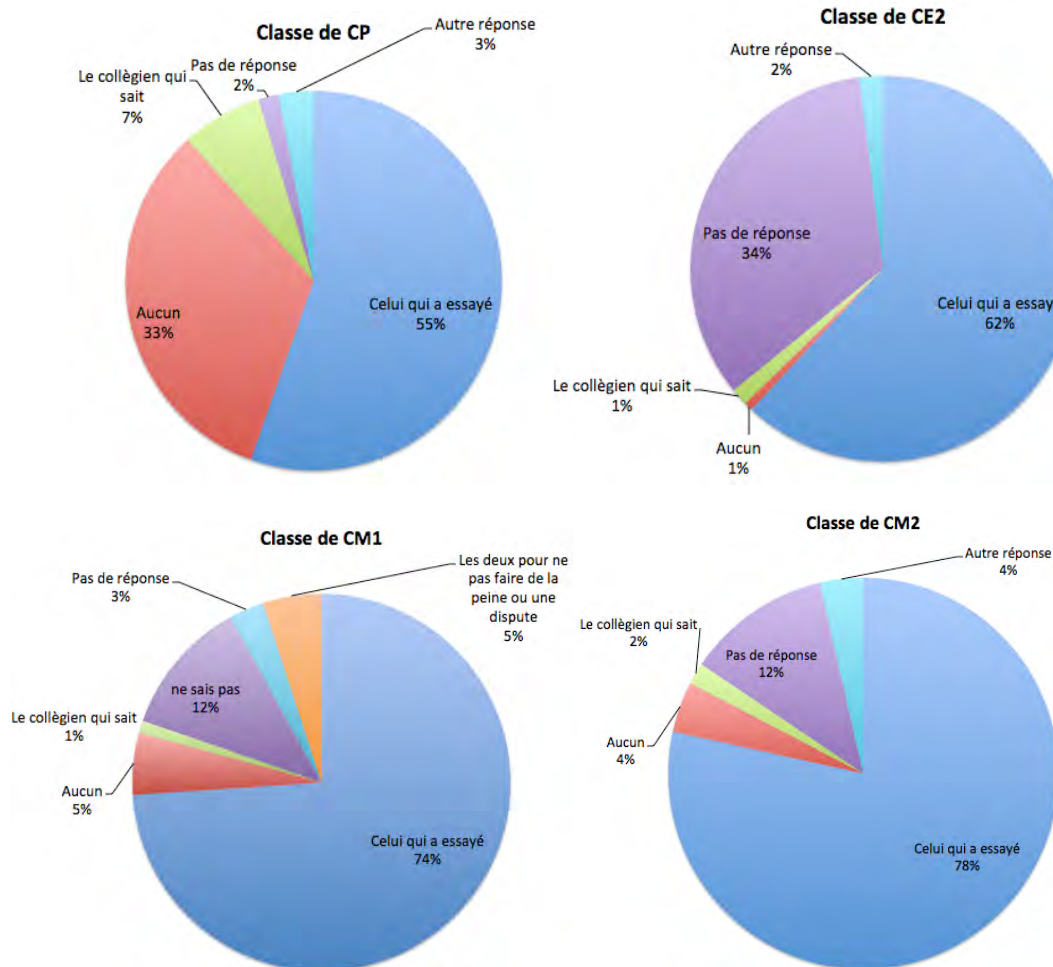


Figure 7.5.2.b. : Distribution des réponses des élèves à la question « Qui crois-tu ? » par niveau de classe

Remarque : Les élèves de CP sont ceux qui répondent le plus volontiers qu'ils ne croient *aucun* des deux élèves (33% vs. 1% en CE2). Ils appartiennent toutefois tous à la même classe. Faute d'informations complémentaires sur les modalités précises de passation du questionnaire par l'enseignant, ce résultat est d'interprétation délicate. Un phénomène de contamination semble en effet plausible : un élève ayant exprimé sa réponse à voix haute a pu être "suivi" par le reste de la classe.

Le plus scientifique : celui qui essaie !

Les élèves considèrent très majoritairement que « le plus scientifique » des deux intervenants hypothétiques est celui qui dit avoir essayé (Tableau 7.5.2.c.).

	CP	CE2	CM1	CM2	Total
Celui qui a essayé	76%	82%	77%	89%	83%
Aucun	0	1%	1%	1%	1%
Le collégien qui sait	19%	7%	9%	7%	9%
Pas de réponse	3%	5%	5%	1%	3%
Autre réponse	2%	5%	8%	3%	4%

Tableau 7.5.2.c. : Distribution des réponses des élèves à la question « Lequel est le plus scientifique ? » par niveau de classe

Les élèves de cycle 3 sont relativement peu nombreux (moins de 10%) à considérer comme « plus scientifique » l'élève qui se dit très fort en science. Assez curieusement, cette proportion n'en est pas moins nettement supérieure à celle des élèves qui croient l'élève "fort en science" de préférence à celui qui essaie (< 2 %).

Les élèves de CP ont proportionnellement plus tendance à admettre que celui qui se dit très fort en science est le plus scientifique. L'interprétation de ce résultat est toutefois délicate. Le mot | *science* | n'a pas encore de contours bien définis pour eux (cf. *infra*) et ils pourraient être plus tentés d'associer "scientifique" et "fort en science" par simple proximité des termes.

En résumé, une très grande majorité des élèves interrogés confrontée à deux réponses contradictoires :

- rejetterait l'argument d'autorité énoncé par un autre élève, même plus âgé qu'eux
- privilégierait explicitement un argument expérimental
- considérerait comme "plus scientifique" un élève revendiquant une démarche expérimentale

7.5.3. UNE IMAGE DES SCIENCES TRÈS MAJORITAIREMENT POSITIVE

Faire des sciences : un plaisir !

24% des élèves associent directement et explicitement faire des sciences à un plaisir. Parmi ceux-ci :

- 17 % associent directement les sciences à une activité ludique : c'est faire des *jeux* (4%) ou *s'amuser* (13%).
- 7% suggèrent que faire des sciences, c'est bien, *super*, *génial*, *cool*, *rigolo*, *extraordinaire*, *passionnant*, voire que « *c'est du bonheur* ».

Inversement, l'expression « *faire des sciences* » ne semble susciter un sentiment mitigé que chez 4 élèves sur 1113 (2 CP et 1 CM2 sur le Jardin des sciences de Mouans-Sartoux/Peymeinade 2013 ; 1 CM2 de l'école Auber, 2013) :

- Trois considèrent qu'ils ont fait des sciences parce que « *il fallait réfléchir et que c'était difficile* » voire « *dur* ». Sans être strictement incompatible avec la notion de plaisir, ces formulations s'en éloignent nettement.
- Enfin, le dernier, qui n'a pas participé à un Jardin des sciences, sait qu'il a fait des sciences lorsque c'est « *inexplicable* ». Il indique par ailleurs que ce qu'il a préféré en classe, c'est le travail sur les saisons.¹⁰² C'est en tout cas le seul pour qui les sciences ont un caractère inaccessible, ce qui nous semble peu compatible avec la prise de plaisir.

Il convient toutefois de noter que ce résultat globalement très positif est obtenu pour des élèves venant pour la plupart de participer à un Jardin des sciences, manifestation résolument festive, et dont la préparation avait occupé une part significative des cours de sciences de l'année. Il ne serait donc pas possible de le généraliser sans précaution à des populations d'élèves ayant bénéficié de stratégies pédagogiques différentes pour l'enseignement des sciences.

De très nombreux élèves interrogés expriment donc spontanément une vision positive de la science.

Une question directe

Il a par ailleurs été spécifiquement demandé à 478 élèves¹⁰³ ayant participé à un Jardin des sciences et aux 30 élèves de CM2 de l'école Auber (qui n'en avaient pas bénéficié) s'ils aimaient les sciences.

Pour les élèves ayant participé à un Jardin des sciences, seuls 11 (soit 2%) ont une réponse mitigée :

- 6 n'aiment pas (1 en CE1, 1 en CM1, 4 en CM2)
- 4 aiment moyennement (tous en CM1, pour 2 d'entre eux « *ça dépend du sujet/de ce que l'on fait* »)
- 1 ne répond pas (en CM1)

102. Sachant les difficultés des enseignants en formation initiale à comprendre le phénomène, cette réponse peut être prise avec un grain de sel.

103. 282 élèves du jardin des sciences de Mouans-Sartoux 2011 et 196 de celui de Cagnes-sur-Mer/Saint-Laurent-du-Var en 2010.

Parmi les élèves de l'école Auber, 5 (soit 17%) ont une réponse mitigée :

- 1 n'aime pas
- 4 aiment moyennement

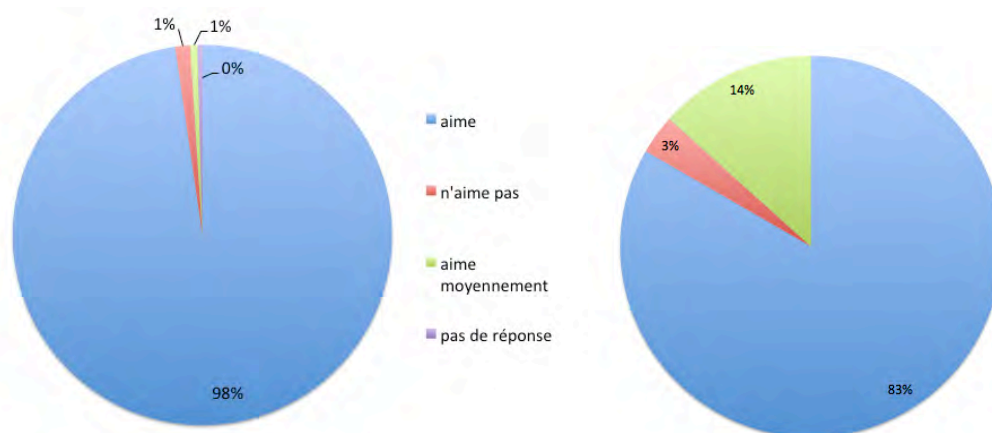


Figure 7.5.3. : Distribution des réponses à la question « Est-ce que tu aimes faire des sciences ? ».

À gauche : élèves ayant participé à un Jardin des sciences ; 100% = 478 réponses.

À droite : élèves n'ayant pas participé à un Jardin des sciences ; 100% = 30 réponses.

Ces résultats sont pleinement compatibles avec ceux de nombreux chercheurs¹⁰⁴ anglo-saxons spécialistes du domaine, qui admettent généralement qu'une majorité des jeunes enfants ont une attitude positive envers la science jusqu'à l'âge de 10-11 ans.

La section 7.5.6 reviendra sur la différence entre les élèves ayant ou non participé à un Jardin des sciences.

7.5.4. ÉVOLUTION DANS LE TEMPS DES CATEGORIES DOMINANTES

La représentation des sciences peut évoluer au cours de la scolarité élémentaire, un élève de CM2 ayant *a priori* une expérience scolaire de l'enseignement des sciences plus conséquente que celui de CP. Cette section s'intéresse à l'évolution des éléments de réponse des élèves en fonction de leur niveau de classe.

Réponses à la question « C'est quoi faire des sciences pour toi ? »

1482 éléments de réponse correspondant à 1113 élèves ont été relevés et regroupés en 43 catégories :

- 4 catégories rassemblent 56% des éléments de réponse (apprendre / faire des expériences / s'amuser / découvrir)
- 6 catégories contiennent entre 3 et 5 % des éléments (pour un total de 24%)
- 13 catégories contiennent entre 1 et 2% des éléments (pour un total de 15%)
- 20 catégories rassemblent 5% des éléments de réponse rares
(e.g. « des défis » / « des énigmes » / « c'est logique »).

104. E.g. Jonathan Osborne, Shirley Simon, Sue Collins. « Attitudes towards science: A review of the literature and its implications », *International Journal of Science Education*, 2003, vol. 25(9), pp. 1049-1079.

Le diagramme 7.5.4.a. détaille la fréquence relative des catégories significatives (> 1%) en fonction du niveau de classe.

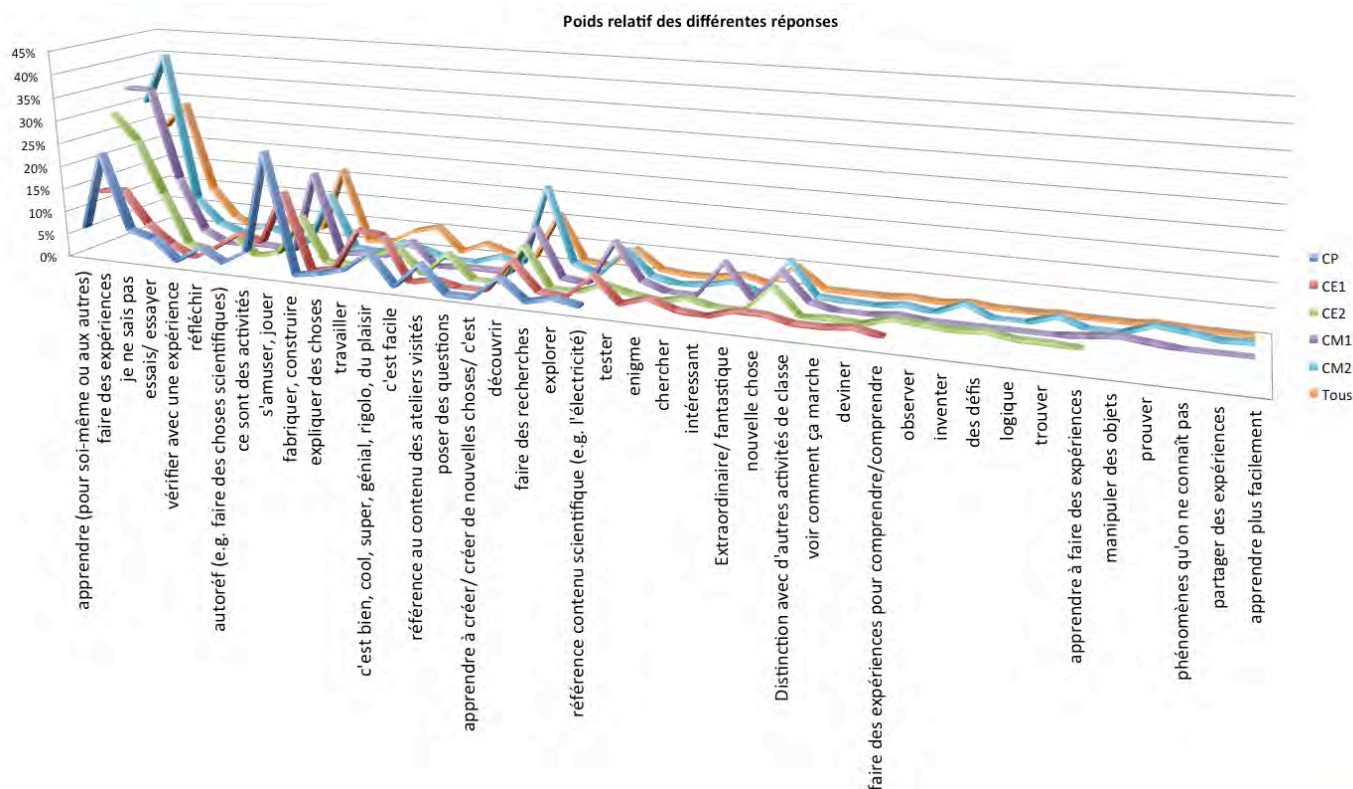


*Diagramme 7.5.4.a. : Poids relatif des différents types d'éléments de réponse par niveau de classe.
Une réponse pouvant faire intervenir plusieurs éléments de réponse, la somme peut être supérieure à 100%.
CP : 226 élèves ; CE1 : 169 élèves ; CE2 : 233 élèves ; CM1 : = 156 élèves ; CM2 : 329 élèves.*

Cette représentation met en évidence trois phénomènes :

a/ Le nombre des catégories évoquées augmente avec l'âge des élèves. Ce résultat n'a rien d'étonnant, la capacité d'expression des élèves s'améliorant au fil de leur scolarité, de même que se précisent leurs idées sur la science.

b/ Cinq catégories restent dominantes, en dépit de quelques fluctuations :

- Apprendre
- Faire des expériences
- S'amuser
- Découvrir
- Nouvelles choses.

c/ L'importance de certaines catégories fluctue en revanche sensiblement suivant les âges.

Ainsi, la catégorie "travailler" connaît une poussée en CE1 (plateau rouge sur le diagramme).

Les catégories “référence au contenu des ateliers du Jardin des sciences” (e.g. « *c’est fabriquer des trucs électriques* ») et “référence au contenu scientifique”(e.g. « *c’est quand il y a de la chimie* »¹⁰⁵) n’ont pas d’évolution simple.

On peut également considérer, pour chaque type d’élément de réponse, la distribution des niveaux de classe parmi les élèves qui s’en réclament. Certaines catégories apparaissent dominées par les petites classes (e.g. *s’amuser*) ; d’autres par les grandes (e.g. *apprendre*).

Le diagramme 7.5.4.b. compare à la fois le poids relatif de ces catégories et leur répartition par niveau de classe. On a conservé les 16 catégories les plus représentées. La catégorie “s’amuser” a également été scindée en deux sous-catégories pour mieux faire apparaître des variations des réponses liées à l’âge : la catégorie des éléments de réponse où seule l’idée de plaisir est présente et celle où elle est associée à une autre idée (e.g. *s’amuser en apprenant* ou *apprendre en s’amusant*).

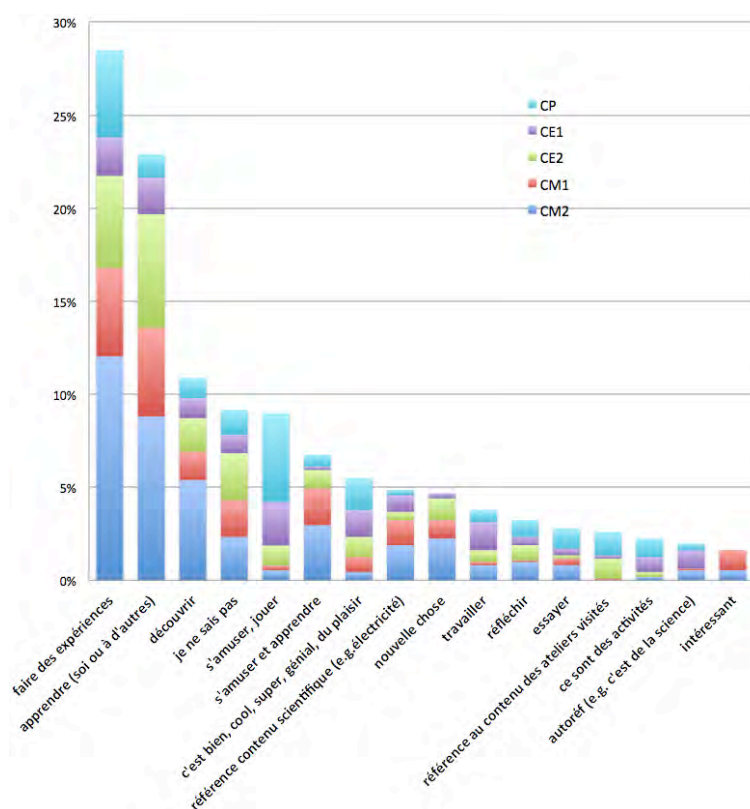


Diagramme 7.5.4.b. : Contribution des différents niveaux de classes à un élément de réponse donnée et poids relatif des différentes catégories de réponse. Une réponse pouvant faire intervenir plusieurs éléments de réponse, la somme peut être supérieure à 100%. 1113 élèves.

Il semble y avoir une dépendance entre l’âge et les types de réponses fournies. Cela fera l’objet de la section suivante.

105. Réponses fournies par des élèves de CE1 et de CE2, respectivement. Jardin des Sciences de Mouans-Sartoux / Peymeinade, juin 2013

Réponses à la question « Comment sais-tu que tu as fait des sciences ? »

666 éléments de réponse correspondant à 635 élèves ont été relevés et regroupés en 46 catégories :

- 2 catégories rassemblent 36% des éléments de réponse (parce qu'on a fait des expériences / parce que c'est un jardin des sciences)
- 10 catégories contiennent entre 3 et 6 % des éléments (pour un total de 43%)
- 13 catégories contiennent entre 1 et 2% des éléments (pour un total de 14%)
- 21 catégories rassemblent 7% des éléments de réponse rares (e.g. « parce que ce sont des phénomènes qu'on ne connaît pas / c'était difficile / il y a des énigmes »).

Comme précédemment, le nombre des catégories évoquées augmente avec l'âge des élèves comme pour les réponses à la question précédente.

Le diagramme 7.5.4.c. rassemble les catégories les plus représentées et leur proportion relative en fonction du niveau de classe. Il suit les mêmes règles de construction que le diagramme 7.5.4.a.

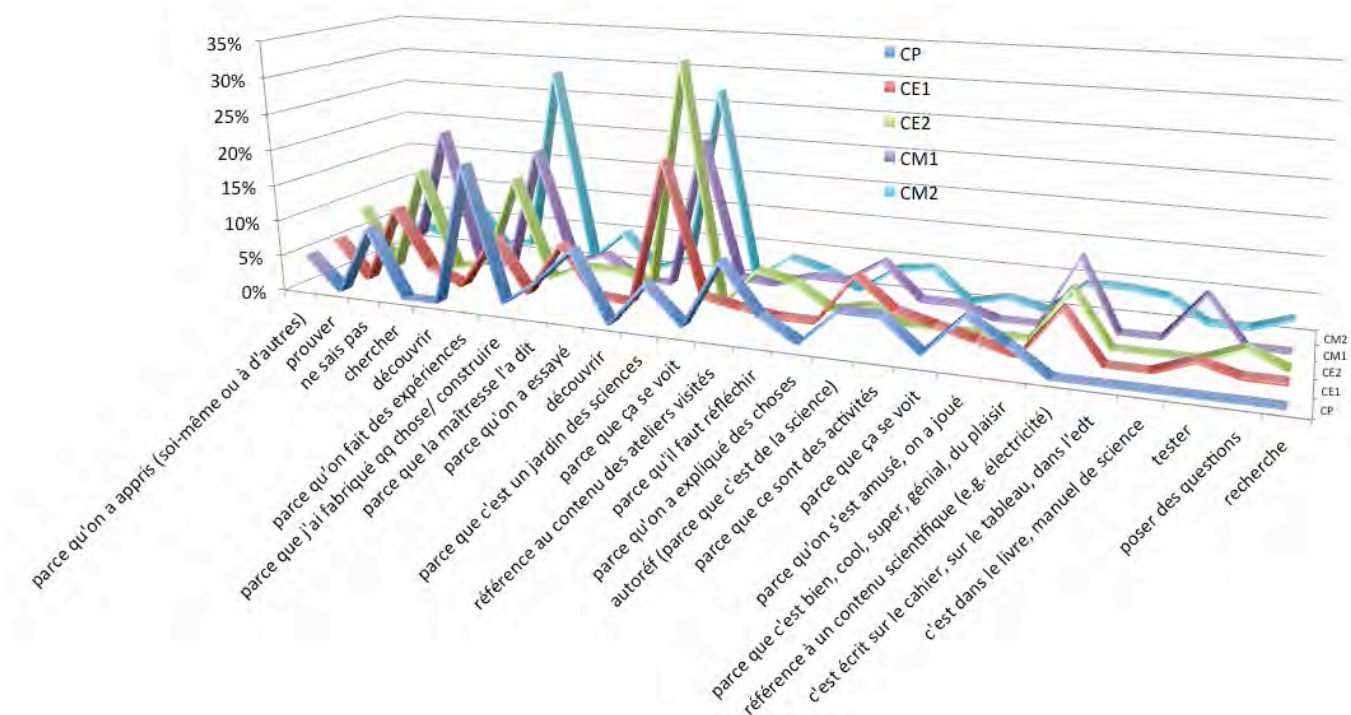


Diagramme 7.5.4.c. : Poids relatif des différents types de réponse par niveau de classes. Une réponse pouvant faire intervenir plusieurs éléments de réponse, la somme peut être supérieure à 100%. CP : 168 élèves ; CE1 : 148 élèves ; CE2 : 94 élèves ; CM1 : 62 élèves ; CM2 : 163 élèves.

Cette représentation met en évidence deux phénomènes :

a/ Quelques grandes catégories sont privilégiées par tous les élèves, en dépit de quelques fluctuations :

“Parce qu'on fait des expériences”

“Parce que c'est un jardin des sciences”

“Référence à un contenu scientifique”

b/ La répartition des réponses en CP et en CE1 présente des pics spécifiques.

En CP : “Parce qu'on a essayé.” ; “Parce qu'on s'est amusé.”

En CE1 : “Parce que la maîtresse l'a dit.”

Une comparaison plus fine des catégories serait nécessaire pour comprendre leur évolution au cours du temps.

Les réponses des élèves aux deux questions ont donc pour point commun d'être concentrées sur quelques types de réponse, qui restent sensiblement les mêmes pour tous les niveaux de classes.

7.5.5. REPRESENTATION DE LA SCIENCE EN FONCTION DU NIVEAU DE CLASSE

On se propose dans cette section de dégager dans ses grandes lignes la représentation de la science des élèves ayant participé à un jardin des sciences suivant leur niveau.

Classes de CP

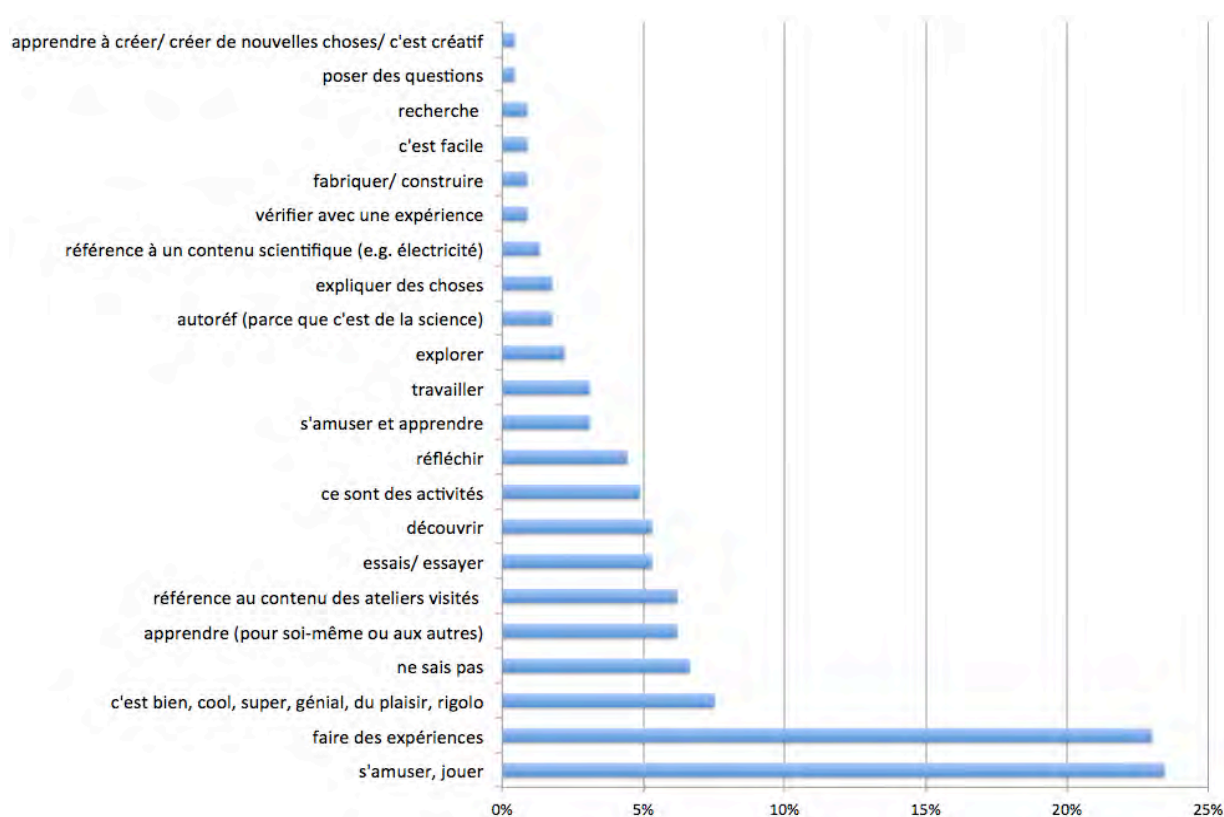


Tableau 7.5.5.a. : Distribution des différents éléments de réponse en CP à la question « C'est quoi faire des sciences pour toi ? ». 226 élèves.¹⁰⁶

En CP, les réponses à la question « C'est quoi faire des sciences pour toi ? » sont concentrées sur deux catégories : faire des expériences et s'amuser (23% chacune).

Les termes *découvrir*, *essayer*, *réfléchir*, *explorer* sont également bien représentées (16% des élèves en tout). Les références aux contenus des ateliers (6%) et à des activités sans plus de précision (5%) sont également nombreuses. L'association *faire des sciences /apprendre* apparaît seulement en cinquième position, l'association de la science au plaisir regroupe en revanche 34% des réponses.

106. Tableaux 8.5.5.a—i : Une réponse pouvant faire intervenir plusieurs éléments, la somme est souvent supérieure à 100%.

A la question « *Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?* », les élèves répondent avant tout que c'est parce qu'ils ont fait des expériences. Ils font référence fréquemment au contenu des ateliers vécus (10%) et considèrent qu'on fait des sciences quand « *on essaie* »¹⁰⁷ (10%).

On fait également des sciences quand on s'amuse (7%). L'argument autoréférent « *parce que c'est un jardin des sciences* » n'est évoqué que par 6% des élèves.



Tableau 7.5.5.b. : Distribution en CP des différents éléments de réponse à la question « *Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?* ». 168 élèves.

Classe de CE1

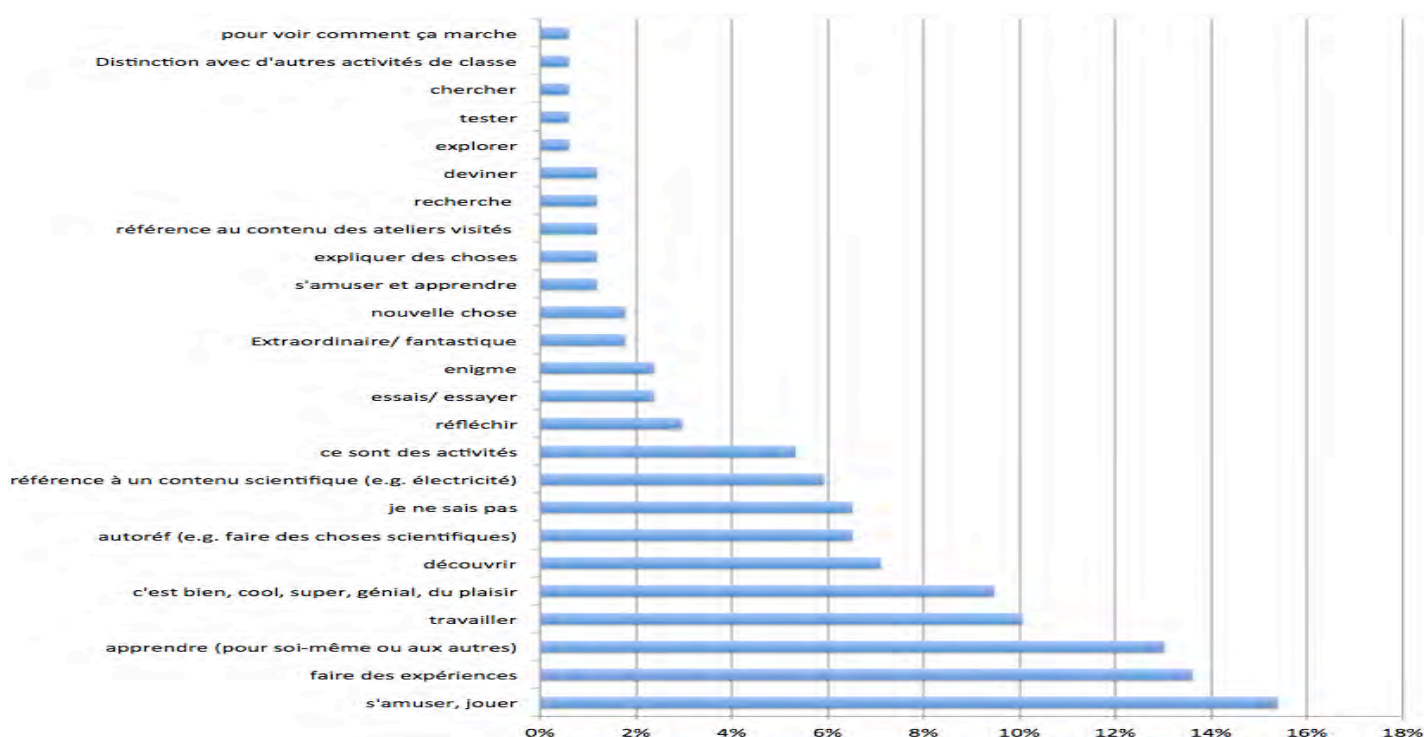


Tableau 7.5.5.c. : Distribution en CE1 des différents éléments de réponse à la question « *C'est quoi faire des sciences pour toi ?* ». 169 élèves.

107. « *Comment savoir ? On essaie !* » étant la formule de référence du Guide Sciences à l'école, côté jardin utilisé par les enseignants.

En CE1, la diversité des éléments de réponses augmente sensiblement (7 catégories à plus de 8% vs. 2 catégories en CP).

Comme en CP, les réponses majoritaires sont de type “s’amuser” et “faire des expériences”. L’association de la science au plaisir ne regroupe plus que 24% des réponses.

On observe en revanche une forte montée de la catégorie “apprendre”. La catégorie “travailler” apparaît avec un poids important (10%), équivalent à celui de la catégorie “c’est bien” (4^e et 5^e positions, respectivement).

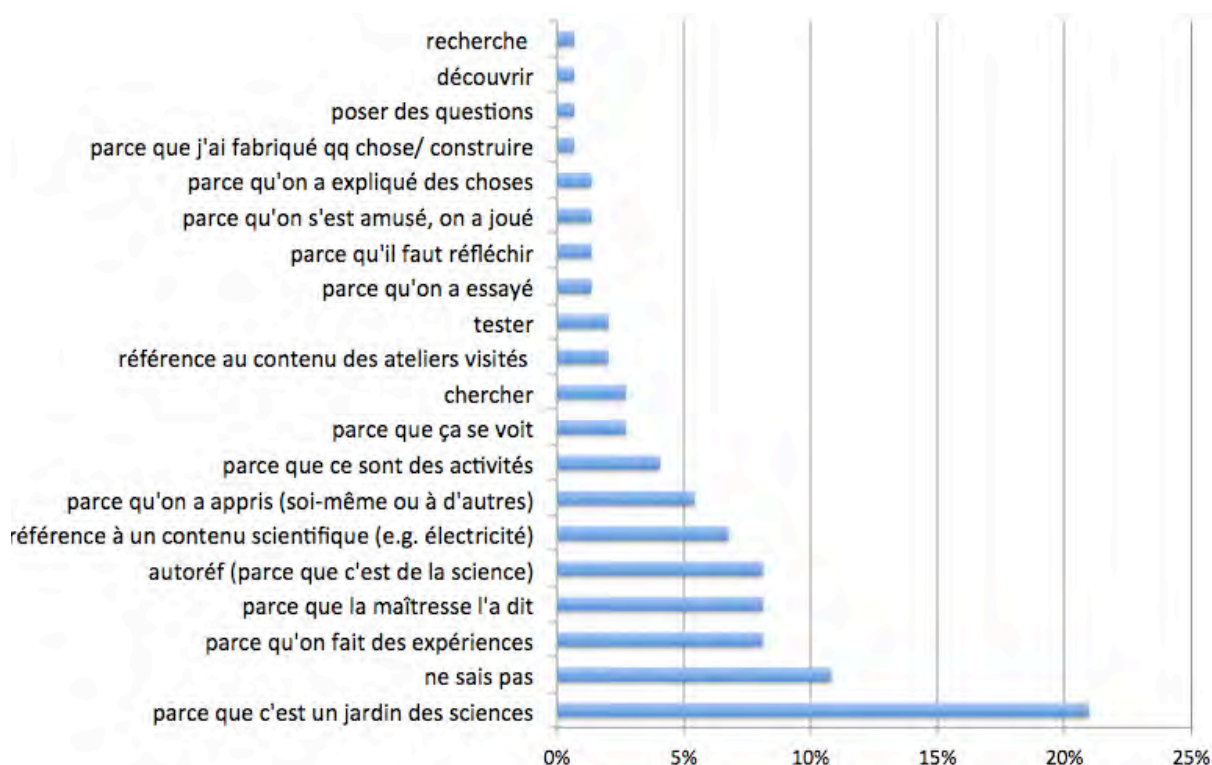


Tableau 7.5.5.d. : Distribution des différents éléments de réponse en CE1 à la question « Comment sais-tu que tu as fait des sciences ? ». 148 élèves.

L’argument « *parce que c’est un jardin des sciences* » est évoqué par 21% des élèves CE1 (contre 6% en CP). Les justifications faisant appel à l’autorité de la maîtresse (qui détermine ce qui relève du “cours de sciences”) ou se référant à la nature présumée scientifique des contenus sont utilisées par environ 23% des élèves. Au total, 44 % des réponses se réduisent, explicitement ou implicitement, à une définition autoréférente de la science.

Les catégories « *essayer* » et « *s’amuser* » passent en revanche dans le fond du classement. La catégorie « *faire des expériences* » se substitue à la catégorie « *référence aux ateliers visités* ».

Classes de CE2

En CE2, pour les élèves, faire des sciences c’est avant tout apprendre et faire des expériences. La gamme de catégories s’élargit. En particulier, apparaît l’idée qu’il s’agit de comprendre des choses (2%).

La référence au plaisir diminue sensiblement (6^e et 8^e positions, soit environ 10% au total) et l'apprentissage passe au premier plan. Faire des sciences est également associée à l'idée de *découverte de nouvelles choses* (resp. 4^e et 5^e position). Comme en CP, on retrouve environ 16% des élèves sur les catégories "découvrir", "essayer", "réfléchir", "chercher", "tester".

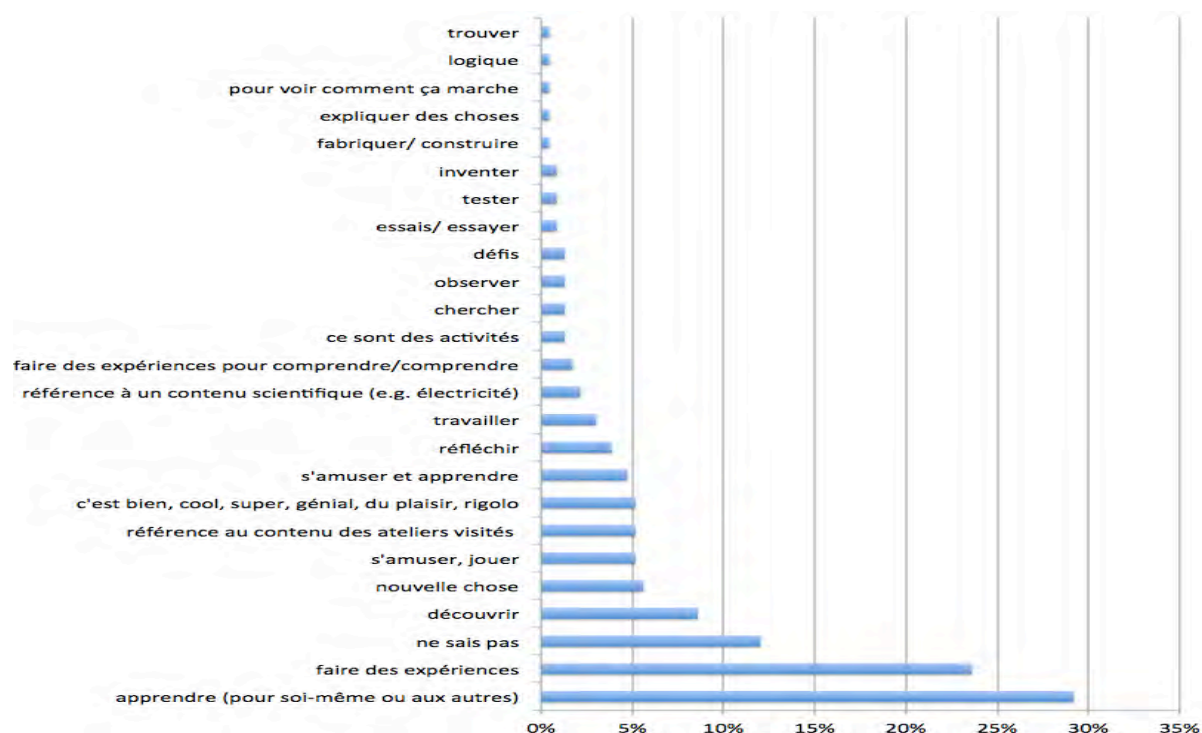


Tableau 7.5.5.e. : Distribution des différents éléments de réponse en CE2 à la question « C'est quoi faire des sciences pour toi ? ». 233 élèves

On retrouve dans les réponses à la question « *Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?* », l'association de la science aux expériences (3^e position) et à un apprentissage (4^e position).

Les CE2 utilisent le nom de la manifestation pour justifier le fait qu'ils y font des sciences de façon plus marquée encore que les CE1 (33% vs. 21%). La référence aux contenus (7%) et à la maîtresse (3%) diminuent en revanche sensiblement.

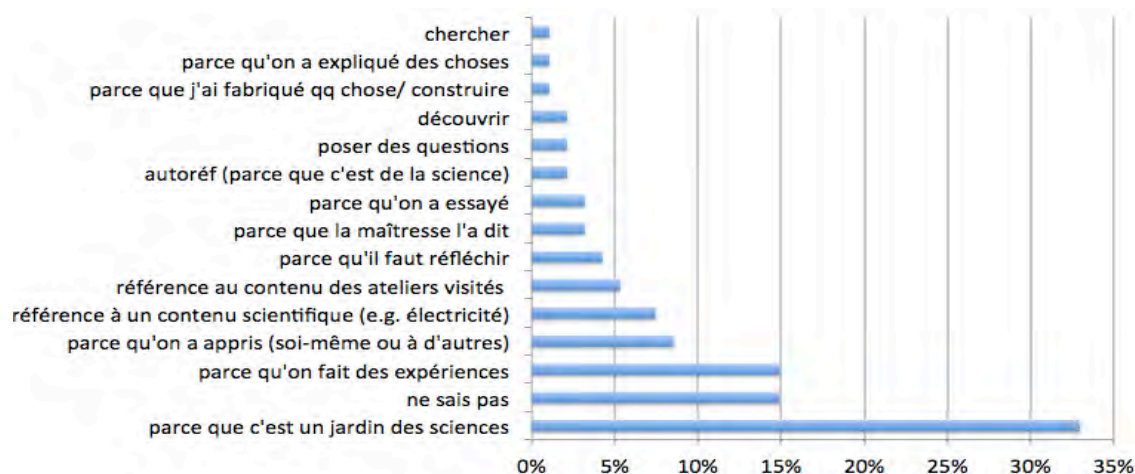


Tableau 7.5.5.f. : Distribution des différents éléments de réponse en CE2 à la question « Comment sais-tu que tu as fait des sciences ? ». 94 élèves

D'une vision "plaisir" de la science en CP à une vision plus "scolaire" en CE2 en passant par une vision "sérieuse" en CE1

En CP, les éléments de réponse des élèves nous semblent déterminés par ce qu'ils ont vécu sur le Jardin des sciences : c'est bien, on s'y amuse et on y fait des expériences. Ils ne paraissent pas avoir d'idée claire sur ce que signifie « faire des sciences » et donnent l'impression de s'appuyer sur leur vécu immédiat pour en déduire le sens. Chez les élèves au CP, les sciences sont du coup fortement associées au plaisir, le jardin des sciences étant une manifestation festive.

Les CE2 semblent en revanche avoir déjà développé une vision "scolaire" de la science : la catégorie « apprendre » y tient une place importante. Cette vision semble évacuer considérablement l'association des sciences au plaisir (moins de 10% des élèves en comparaison avec les 34% des CP).

Le CE1 apparaît de ce point de vue comme un niveau intermédiaire, avec des élèves encore proches des CP et d'autres plus proches des CE2. « S'amuser et jouer » y reste le type de réponse le plus fréquent à la question « C'est quoi faire des sciences pour toi ? » mais il est en même proportion que les réponses du type « faire des expériences ».

La mise en relation de l'évolution des catégories « apprendre » et « s'amuser » sur les cinq niveaux met également en évidence le rôle de pivot du CE1 (Figure 7.5.5.g.).

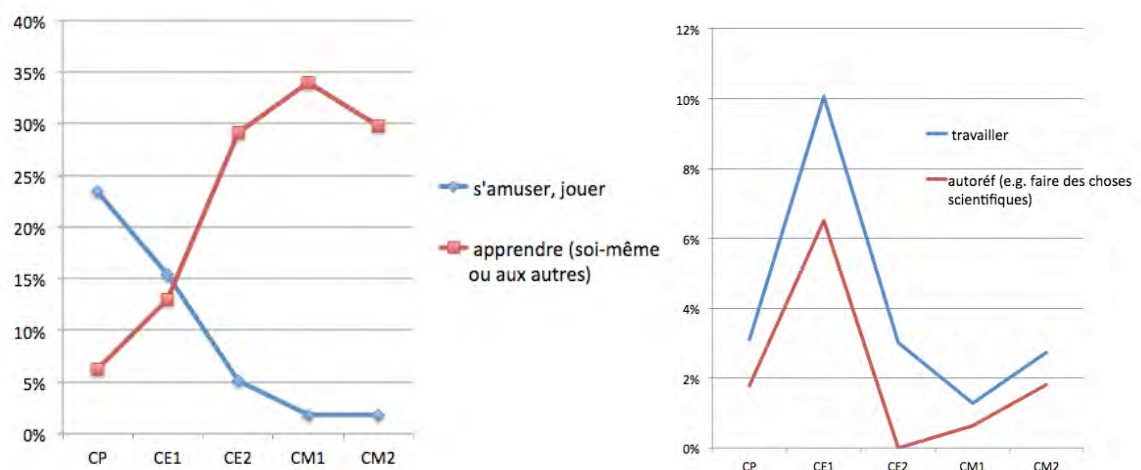


Figure 7.5.5.g. : Poids relatifs des éléments de réponse "apprendre" et "s'amuser" (à gauche) et poids relatifs des éléments de réponse associés au travail et à l'autoréférence (à droite) sur les 5 niveaux de classe

On constate aussi en CE1 une surreprésentation des catégories « travailler » et « autoréférence explicite » (Figure 8.5.5.g.). Elle pourrait s'interpréter comme une volonté de certains élèves de CE1 d'associer les sciences à une activité "sérieuse". Le pic de la catégorie "autoréférence" relèverait alors d'une solution de repli pour pallier leur difficulté à maîtriser les contours du terme | science |.

Les réponses à la question « Comment sais-tu que tu as fait des sciences ? » suivent une évolution semblable : la revendication du plaisir s'efface au profit de celle de sérieux en CE1. Les réponses de la forme « pour s'amuser » passent dans le fond du classement (moins de 1% des élèves les cite) et n'en sortiront plus.

Les justifications appelant à l'autorité de la maîtresse, à l'autoréférence et spécifiant que le contenu de ce qui est fait est scientifique sont en revanche utilisées par une part importante des élèves (23%) alors qu'elles le sont nettement moins en CP (10%)

et un peu en CE2 (15%). Une interprétation pourrait être que les élèves tentent de se détacher de justifications d'apparence subjective sans pour autant encore savoir par quoi les remplacer. Ils s'appuient alors sur de nouvelles justifications à l'apparence plus sérieuse.

Par ailleurs, en CE1, les réponses du type "parce que c'est un jardin des sciences" font une percée remarquable (6% en CP *vs.* 21% en CE1). Le mot « science » utilisé dans le nom de la manifestation semble commencer à faire sens pour les élèves.

Classes de CM1 et CM2

Les profils des élèves de CM1 et CM2 apparaissent très proches, et sont donc regroupés ici. Les réponses qui dominent, comme en CE2, associent « *faire des sciences* » à « *apprendre* » et « *faire des expériences* » (Tableaux 7.5.5.h. & i.). Environ 70% des élèves les choisissent.¹⁰⁸

Les réponses "*s'amuser et apprendre*" et "*découvrir*" rassemblent également un nombre conséquent d'élèves (25% en CM1 et 28% en CM2, en cumulé). Les catégories *essayer*, *réfléchir*, *chercher*, *explorer*, *essayer*, *tester*, *prouver* rassemblent quant à elle environ 15% des élèves.

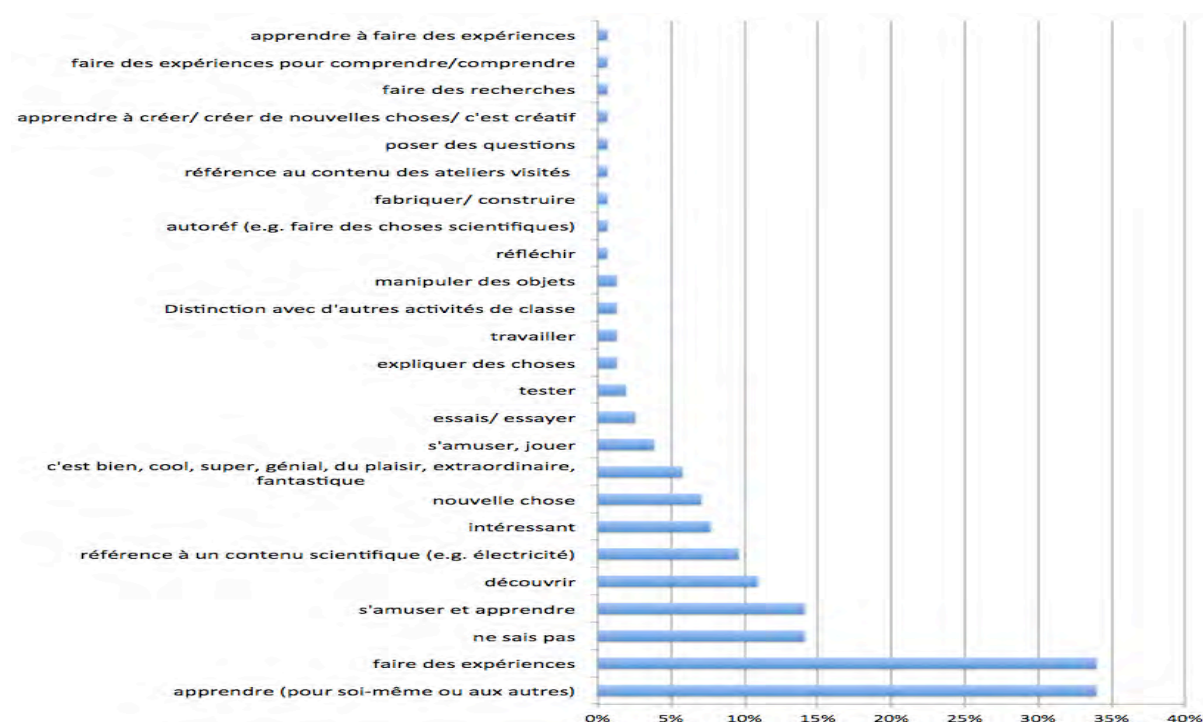


Tableau 7.5.5.h. : Distribution des différents éléments de réponse en CM1. 100% = 156 élèves

108. Cumulativement, les deux types de réponses sont fournis par 68% des CM1 et 71% des CM2.

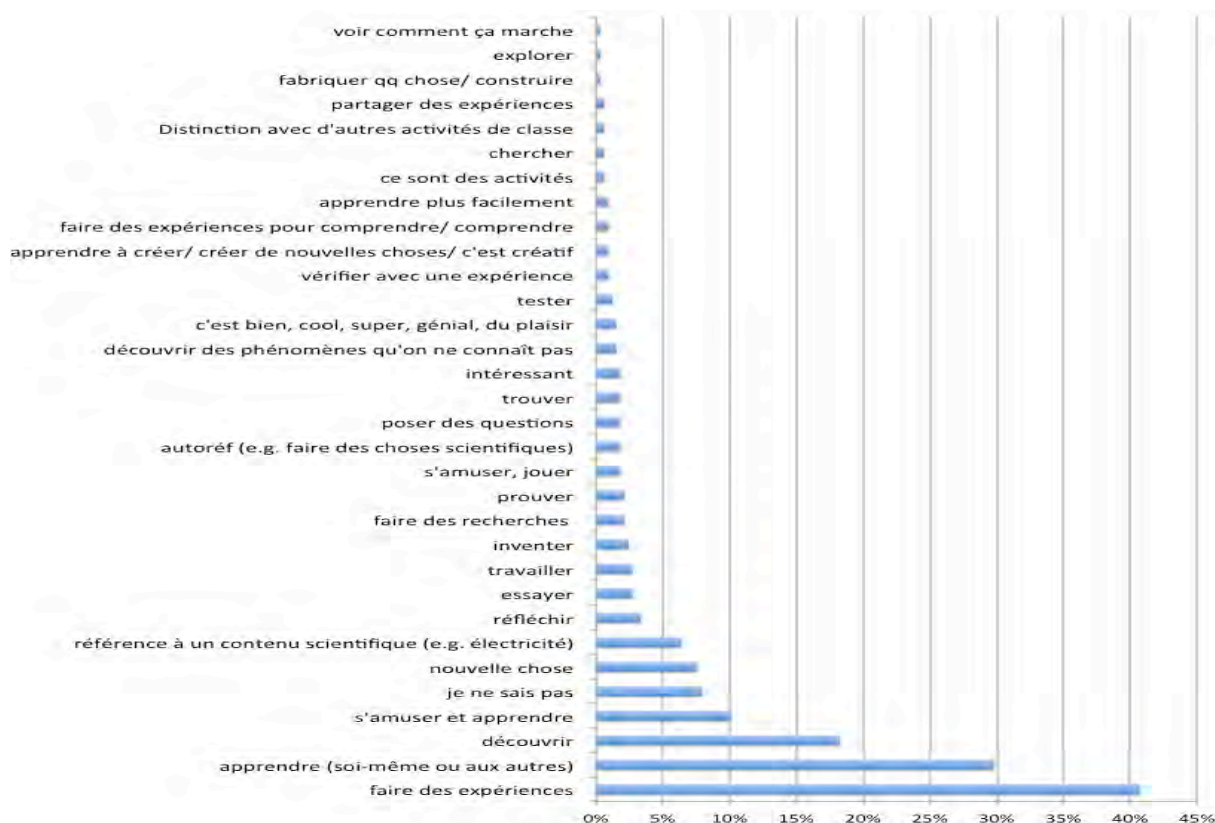


Tableau 7.5.5.i. : Distribution des différents éléments de réponse en CM2. 100% = 329 élèves

Ces réponses restent sans surprise concentrées sur les catégories “parce qu’on fait des expériences” et “parce que c’est un jardin des sciences”.

Le tableau 7.5.5.j. montre que peu d’élèves font appel à l’argument d’autorité ou à l’autoréférence (resp. 6 et 3% en CM1, 5 et 2% en CM2). Les réponses rares de l’ordre de 2-3% restent en proportion stable sur les deux niveaux.

La référence à un contenu scientifique est assez forte en CM1 (10%) et chute en CM2 (2%)¹⁰⁹. Le contenu ne détermine plus pour les élèves interrogés ce qui est ou pas scientifique.

<i>Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?</i>	CM1 (62)	CM2 (133)
parce que c’est un jardin des sciences	21%	33%
parce qu’on fait des expériences	18%	35%
référence à un contenu scientifique (e.g. électricité)	10%	2%
autoréférence (parce que c’est de la science)	6%	5%
parce qu’il faut tester / chercher / il y a des recherches	6%	6%
parce que la maîtresse l’a dit	3%	2%
parce qu’il faut réfléchir	3%	3%
parce qu’il faut prouver qq chose	3%	2%

Tableau 7.5.5.j. : Poids relatif des différents éléments de réponse à la question « Comment sais-tu que tu as fait des sciences ? »

109. La différence n’apparaît pas nécessairement significative, dans la mesure où l’insistance des différents enseignants sur le terme était par construction différente.

7.5.6. EFFET DU JARDIN DES SCIENCES SUR LES REPONSES DES ELEVES

Le jardin des sciences est une stratégie parmi d'autres intégrant l'enseignement des sciences par la démarche d'investigation. Afin de tenter d'évaluer son effet, des élèves ayant fait des sciences uniquement en classe ont également été interrogés.

Il s'agit de 30 élèves issus de deux classes de CM2 de l'école Auber de Nice. Ces élèves ont bénéficié d'un enseignement en sciences solide et intégrant de nombreuses activités expérimentales, et ce de façon relativement constante pendant l'année. Leurs enseignants sont sensibilisés à la démarche d'investigation. L'un d'eux (M. Gachignard) a même reçu le prix des mémoires professionnels de La Main à la Pâte.¹¹⁰

Rapport à l'expérience

A la question « *C'est quoi faire des sciences pour toi ?* », les élèves de l'école Auber font beaucoup moins référence aux expériences que leurs camarades ayant participé à un jardin des sciences (figure 7.5.5.a.).

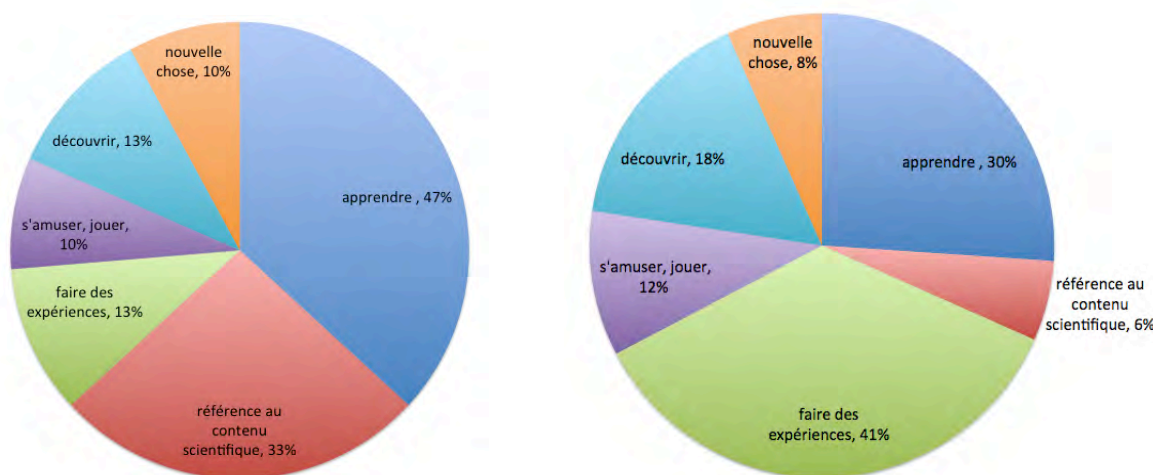


Figure 7.5.5.a. : Poids relatif des éléments de réponse les plus employés à la question « C'est quoi faire des sciences pour toi ? » pour les élèves de CM2-Auber (à gauche, 100% = 30 élèves) et ceux de CM2 ayant participé à un Jardin des sciences (à droite, 100% = 359 élèves).

110. En 2004, pour un travail sur le thème « Intérêts et limites de l'expérimentation en sciences ».

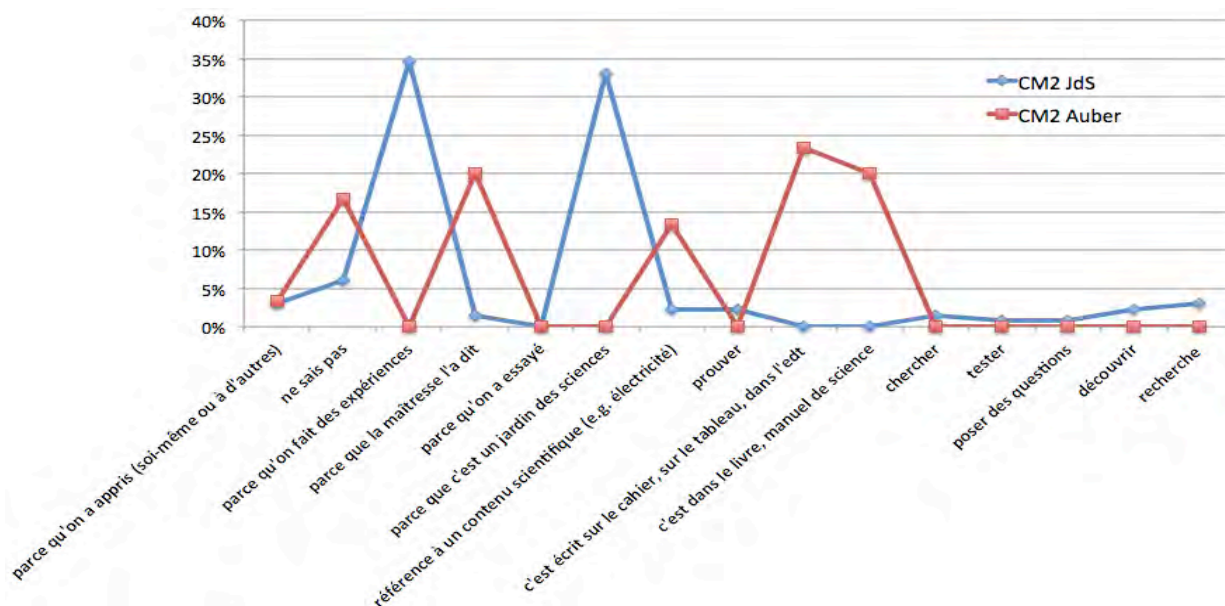


Figure 7.5.5.b. : Poids relatif des éléments de réponse à la question « Comment sais-tu que tu fais des sciences ? » 100% = 30 élèves (CM2 Auber), 100% = 133 élèves (CM2 JdS)

A la question « *Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?* », aucun élève de l'école Auber ne fait spontanément référence à des expériences¹¹¹ (figure 7.5.5.b.). C'est pourtant la justification la plus employée par les élèves ayant participé à un jardin des sciences. La différence de rapport à l'expérience des élèves trouvée sur la question précédente se retrouve ici de façon encore plus marquée.

Rapport à l'apprentissage

Pour tous, les sciences sont associées au fait d'apprendre, même si on trouve plus d'élèves à Auber fournissant cette réponse que d'élèves ayant participé à des Jardins des sciences (élèves JdS).

Rapport au contenu scientifique

Quelle que soit la question posée, les élèves de l'école Auber s'appuient beaucoup plus sur la nature du contenu étudié que leurs camarades ayant participé à un jardin des sciences :

- 33% vs. 6% pour la question « *C'est quoi faire des sciences pour toi ?* »
- 13% vs. 2% pour la question « *Comment sais-tu que tu as fait des sciences ?* ».

Rapport à l'autorité

Les élèves de l'école Auber sont bien plus nombreux à se référer à l'autorité de l'enseignant (20% vs. 2% pour les élèves JdS).

Ils s'appuient sur des critères renvoyant encore plus ou moins directement à l'autorité : celle du livre (20%) ou celle du maître, indirectement *via* le nom du cahier, la place dans l'emploi du temps, l'indication portée au tableau (23%). Ils n'utilisent

111. Une seule élève sur trente, déjà citée, associe néanmoins faire des sciences à la présence de nombreuses activités : « *C'est parce qu'on fait beaucoup d'activités* » (fille, 10 ans).

pas, en toute logique, l'argument "parce c'est jardin des sciences" (33% des élèves JDS).

En incluant dans les justifications constitutives d'un l'appel à l'autorité, celle s'appuyant sur un nom, celui du Jardin des sciences, on constate que :

- 35% des réponses des élèves JDS s'appuient sur une autorité
- 63% des élèves de l'école Auber s'appuient sur une autorité

Jardin des sciences : un effet prometteur ?

La participation à un jardin des sciences semble limiter l'emploi de justifications basées sur le contenu travaillé ou faisant appel à l'autorité de la part des élèves. Inversement, elle semble avoir un effet marqué sur l'association science/expérience.

Ce concept de manifestation semble donc, de ce point de vue, atteindre son objectif pédagogique. Il est cependant important de noter que les réponses des élèves ont été recueillies juste après leur participation au Jardin des sciences ; une étude complémentaire serait nécessaire pour confirmer son impact sur le long terme.

7.5.7. DES REPRÉSENTATIONS DE LA SCIENCE EN CONSTRUCTION

Des réponses des élèves de cycle 2 et 3, il ressort que ceux-ci ne font pas de lien étroit entre les notions de *science* et de *méthodologie*. En fait, les termes de *méthode* et de *méthodologie* semblent absents du vocabulaire courant de la plupart des élèves de ce niveau. Celui de *science* leur est manifestement plus familier, et sa connotation est encore nettement positive à l'école élémentaire ; pour autant, les représentations associées y sont clairement en construction.

Les plus jeunes d'entre eux (CP-CE1) paraissent avoir une représentation de la science essentiellement déterminée par leur vécu immédiat. Ils associent très volontiers les activités scientifiques à des jeux et au plaisir.

Pour les plus âgés (CE2-CM2), faire des sciences est bien plus associé à l'idée d'apprendre des choses. Les élèves associent également aux sciences l'idée de découverte (fréquente) et ce, bien plus que celle de compréhension des phénomènes (rare).

D'une façon générale, les élèves des cycles 2 & 3 (ou du moins, ceux ayant bénéficié d'une pédagogie de type "Jardin des sciences") restent très majoritairement sur une représentation élémentaire de la science : faire des sciences, c'est faire des expériences. Celle-ci constitue une base conceptuelle saine sur laquelle les enseignants des classes de collège pourront s'appuyer pour construire des approches et des définitions plus sophistiquées.

Addendum 7

Entretiens réalisés avec des élèves de CP : diagramme de Kiviat

Les entretiens ont été réalisés dans la classe de Mme Anne Wacogne, enseignante de CP à l'école Alphonse Daudet de Cagnes-sur-Mer le 5 avril 2011, quinze jours après la mise en œuvre de la séquence *Plouf !* en classe.

Cette enseignante mettait en place pour la première fois une démarche d'investigation dans sa classe avec les élèves, dans le cadre de sa participation au Jardin des sciences. Les élèves ont travaillé en amont de la séquence l'album *Plouf !* et l'ont scénarisé.

10 binômes ont été interviewés. Les entretiens, numérotés de C1 à C10, sont disponibles en annexe 7.A.c.



Image 7.a.1. : un binôme au cours de l'entretien (Elia et Sofian, entretien C3)

Diagrammes de Kiviat :

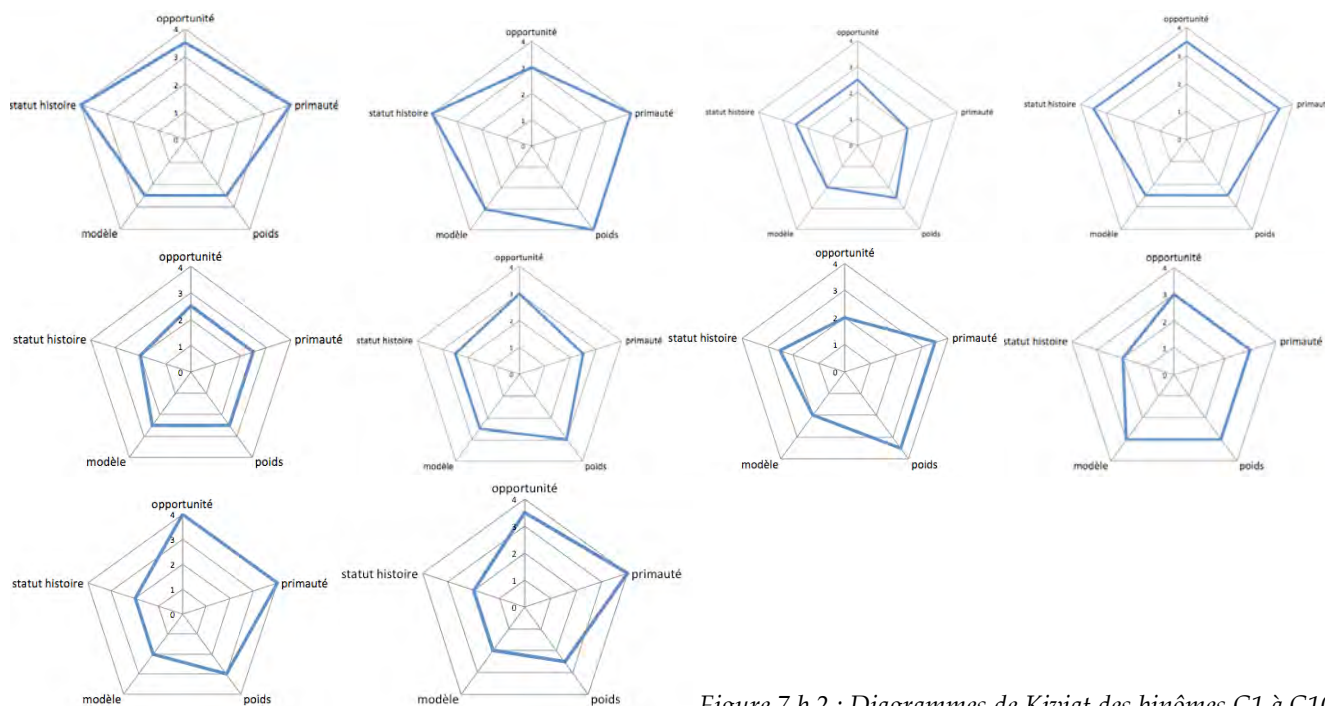


Figure 7.b.2.: Diagrammes de Kiviat des binômes C1 à C10

Partie 8

Propositions curriculaires

8. Propositions curriculaires

Les résultats qui précèdent confirment dans une large mesure les intuitions fondatrices de ce travail : les enseignants et futurs enseignants du primaire¹ ne disposent pas, pour la plupart d'entre eux, d'une vision claire et opératoire de la nature de la science ; mais il s'avère possible de développer des stratégies efficaces pour les amener à s'en approprier une et développer ainsi significativement la pratique de la science scolaire dans les classes, et ce dès l'école maternelle.

Au terme de notre étude, nous souhaitons donc faire quelques propositions concernant aussi bien la formation des jeunes élèves de l'école primaire que celle de leurs enseignants.

Nos propositions porteront sur :

- l'intégration dès l'école maternelle d'éléments de méthodologie scientifique dans les pratiques de classe pour y *faire des sciences* ;
- l'intégration au cycle 3 d'éléments de scientificité explicites ;
- la formation épistémologique des enseignants.

Propositions pour le cycle 1 et le cycle 2

Proposition 1 :

Intégrer des éléments de méthodologie expérimentale de base dans les programmes de découverte du monde des cycles 1 & 2

Nous proposons de travailler dans les cycles 1 & 2 trois compétences méthodologiques expérimentales de base relatives à :

- la primauté de l'observation ou de l'expérience,
- la reproductibilité des observations et expériences,
- ainsi que leur robustesse.

Les programmes actuels distinguent l'enseignement des sciences expérimentales, qui inclut au cycle 3 aussi bien des compétences méthodologiques que des savoirs de base, de la "découverte du monde" qui, en fin de CE1, se limite à "*observer et décrire pour mener de investigations*". Sans remettre en cause la progression des contenus, il nous semblerait utile de profiter de la modération des enjeux de fond en cycles 1 et 2 pour commencer à y introduire de "bonnes pratiques" observationnelles et expérimentales.

Nous proposons donc de démarrer cette initiation dès la Grande Section de maternelle, où les éléments méthodologiques peuvent être perçus par les jeunes élèves comme des règles du jeu à respecter lors de pratiques de classe associées à l'expérimentation ou à l'observation. Les petits de maternelle sont en effet tout prêts à accepter les règles posées par les adultes, sans d'ailleurs forcément réfléchir aux objectifs qui les sous-tendent. Cette attitude est favorable à la construction d'automatismes méthodologiques.

1. Ou du moins ceux des Alpes-Maritimes, qui en constituent un échantillon *a priori* représentatif.

Bien établies après six années de mise en application à l'école primaire, ces compétences méthodologiques s'avèreraient alors d'autant plus précieuses au collège pour anticiper et accompagner le "choc" du formalisme, dont on sait la capacité à décourager nombre de jeunes élèves et à les convaincre qu'ils sont "nuls en sciences".

1.a. Réaffirmer dans les programmes de cycles 1 et 2 l'importance d'un étayage expérimental ou observationnel des propositions avancées

Pourquoi ?

Les petits ne ressentent que rarement la nécessité de mettre à l'épreuve leurs explications des phénomènes qu'ils connaissent. Ils se satisfont tout autant d'une réponse d'autorité apportée par l'adulte. Introduire dès le cycle 1 l'idée que toute affirmation peut appeler justification les prépare à une relation moins passive au savoir, scientifique en particulier.

Dans la mesure où ils n'ont pas encore acquis les compétences langagières et logiques nécessaires à une argumentation convaincante, l'expérience est souvent le seul moyen qui leur est accessible pour vérifier leurs dire — *Comment savoir ? On essaie !*

Comment ?

1.b. Intégrer dans les programmes de cycles 1 et 2 la notion de "bonne pratique expérimentale"

Dans un premier temps, ces bonnes pratiques concernent l'intégrité et la mise en commun systématique des résultats. Puis, dès la Grande Section de maternelle, elles peuvent impliquer les notions de reproductibilité et de robustesse des expériences.

Reproductibilité

Si les petits aiment refaire les choses, refaire *délibérément* la même chose pour s'assurer qu'on trouve le même résultat n'est pas un comportement spontané chez eux. Ritualiser le test systématique de la reproductibilité des résultats d'une expérience avant de conclure serait un premier pas utile vers l'intégration de l'idée d'une démarche "scientifique".

Robustesse

De même, l'usage de faire varier au moins un paramètre présumé non pertinent pour vérifier son absence d'influence sur le résultat d'une expérience installerait progressivement un rapport plus pondéré à l'expérience et à l'observation

Par ailleurs, c'est à la fois un moyen de découvrir de nouveaux phénomènes, s'assurer que l'on n'a pas oublié un paramètre pertinent et multiplier les occasions données aux élèves de manipuler et de s'approprier un phénomène physique.

Proposition 2 :

Introduire une initiation à la modélisation scientifique dans les programmes de découverte du monde des cycles 1 et 2

Pourquoi ?

Les élèves ont souvent des difficultés à comprendre le rôle de la modélisation en science et la nécessité de représentations simplifiées d'un système physique. Au collège et au lycée, ils sont par ailleurs confrontés à des modèles mathématiques, la difficulté du formalisme venant s'ajouter à celle de la navigation entre le monde physique et ses représentations. La conjonction de ces deux difficultés pourrait y être à la source de nombre de situations d'échec à s'approprier la puissance des représentations formelles.

Or il est possible de travailler en amont, et même dès la Grande Section de maternelle, à partir de représentations non formelles, les compétences liées d'une part à l'établissement d'une distinction claire entre un univers (physique ou fictionnel) et ses représentations (i.e. au *recul*, dans notre lexique) et d'autre part à la réalisation de l'intérêt d'une représentation simplifiée d'un système complexe.

Comment ?

La construction de simulations analogiques d'albums jeunesse pour en tester la plausibilité fournit des situations attrayantes de navigation entre une situation complexe et sa représentation simplifiée dans un autre plan de réalité. Elle permet en outre de travailler l'identification des paramètres pertinents.

L'utilisation de la schématisation peut favoriser également la prise de conscience de l'existence de plusieurs niveaux de représentation et en particulier du caractère *volontairement* simplificateur des représentations.

Propositions pour le cycle 2

Proposition 3 :

Intégrer parmi les objectifs des programmes de français des cycles 1 et 2 une compétence d'analyse des discours factuels

Communiquer dans un cadre scientifique suppose une maîtrise relativement sophistiquée de la langue. Le cycle 2 est un moment charnière où les élèves apprennent à lire et prennent conscience de l'importance du sens des mots et de la portée des propositions qu'ils formulent. Un travail transversal en français et en sciences permet de développer ces compétences en situation.

3.a. Sensibiliser les élèves à l'importance de la cohérence lexicale

L'usage d'un vocabulaire univoque et la formulation de propositions adaptées aux résultats sont essentiels au bon déroulement des démarches d'investigation.

3.b. Sensibiliser les élèves au niveau de généralité d'une proposition

La navigation entre général et particulier est une caractéristique essentielle des activités scientifiques. Elle n'a guère de sens si les élèves ne maîtrisent pas la compétence langagière qui la rend possible. Il nous semble utile de commencer dès que possible à travailler avec les élèves sur les implications en termes de généralité des propositions qu'ils manipulent.

Propositions pour le cycle 3

Proposition 4 :

Introduire parmi les objectifs des programmes de sciences expérimentales de cycle 3 la compétence de discrimination entre pratiques scientifiques et non scientifiques

Il n'y aurait à notre avis guère de sens à introduire à l'école primaire des considérations d'ordre épistémologiques ou même une réflexion un tant soit peu approfondie sur la nature de la science.

Il n'en est pas moins souhaitable que les élèves de cycle 3 prennent conscience de l'existence, et dans une certaine mesure, de l'importance sociale et culturelle de la science. L'apparition dans les programmes du terme de *science* et en classe de *cours de sciences* gagnerait donc à s'accompagner d'un travail sur la spécificité de la démarche scientifique.

4.a. Préciser dans les documents des programmes les "bonnes pratiques" expérimentales attendues en fin de cycle 3 et y sensibiliser les élèves

Au cycle 3, quelques "bonnes pratiques" expérimentales, au premier rang desquelles la vérification systématique de la reproductibilité et de la robustesse des expériences, peuvent déjà constituer un premier jeu de critères de scientificité d'une investigation expérimentale.

4.b. Sensibiliser les élèves à l'utilité des lois scientifiques et de la navigation entre général et particulier

Un élève de cycle 3 devrait comprendre clairement qu'une loi scientifique est une proposition que l'on peut appliquer sur de nombreux cas particuliers et qu'elle possède donc une certaine généralité.

Une étape supplémentaire utile consisterait à insister sur l'idée que la science opère par aller-retour entre général et particulier, et qu'une démarche qui en ferait l'économie ne pourrait être reconnue pour scientifique.

Proposition 5 :

Sensibiliser les élèves à la notion de modèle scientifique et à ses usages élémentaires

Propositions pour la formation initiale et continue des enseignants du premier degré

Proposition 6 :

Intégrer dans la formation des enseignants du primaire une initiation à l'épistémologie et à la méthodologie scientifique de base

6.a. Sensibiliser les enseignants aux bonnes pratiques expérimentales

Les enseignants ne maîtrisent que rarement des éléments de méthodologie scientifique de base comme par exemple le test de la reproductibilité ou de la robustesse d'une expérience ou la navigation entre le général et le particulier.

À quel coût ?

Une formation dédiée de 6 h en présentiel² semble un minimum pour une première initiation aux bonnes pratiques expérimentales, suffisant pour mener des démarches d'investigation recevables.

6.b. Mettre à la disposition des enseignants des exemples de séquences en démarche d'investigation permettant de travailler des éléments de scientificité spécifiques

En complément des formations, la mise à disposition de séquences (documents écrits, vidéos, etc.) permettrait de compléter le dispositif. Proposer des séquences clef en main permettant de travailler des éléments de scientificité spécifiques pourrait aider les enseignants à mieux saisir ce que l'on attend d'eux, et en particulier de réaliser qu'il s'agit de gestes professionnels simples et accessibles. Nous en avons développé dans le cadre de cette étude (cf. annexe 2.A.).

2. On peut également envisager une formation alternant présentiel et formation à distance mais des interactions directes entre participants et entre formateur et participants nous semblent nécessaires pour aider les enseignants à prendre conscience des enjeux.

Partie 9

Conclusions et perspectives

9. Conclusion et perspectives

9.1. SYNTHÈSE DES QUESTIONS DE RECHERCHE

Au moment de conclure ce travail, il nous semble utile de faire un bilan des différentes questions de recherche qui l'ont motivé.

Question de recherche 1.

Peut-on construire un jeu opératoire de critères de scientificité adapté à la science scolaire du primaire ?

- 1.a. *Les critères ainsi construits sont-ils adaptés au contexte de l'école primaire ?*
- 1.b. *Le jeu de critères de scientificité dégagé est-il discriminant ?*
- 1.c. *Quelle est la nature de la science scolaire ainsi proposée aux élèves (et aux enseignants) ?*

Nous avons en effet construit un jeu opératoire de critères de scientificité adapté au contexte de l'école primaire et discriminant. Les enseignants auxquels cet outil a été présenté l'ont bien reçu et l'estiment utile pour leur pratique de classe.

La capacité de ce jeu de critères à discriminer pratiques scientifiques et non scientifiques s'est avérée satisfaisante en ce qui concerne les pratiques reconnaissables par des élèves de l'école primaire. Il trouve toutefois une limite logique lorsqu'on le confronte à des pratiques de mauvaise foi, ou problématiques pour la communauté scientifique elle-même ou relevant de la science pathologique (comme les Rayons N).

La nature de la science scolaire suggérée par cette approche sera discutée plus en détail dans la section § 9.3.

Question de recherche 2.

Quelle stratégie pédagogique favorise-t-elle l'émergence d'une vision plus claire de la nature de la science ?

- 2.a. *Quelles sont les représentations de la nature de la science et les critères de scientificité spontanément mis en œuvre par les enseignants du primaire ?*
- 2.b. *La démarche d'investigation seule suffit-elle à modifier la vision de la science des enseignants ?*
- 2.c. *Quels éléments épistémologiques faut-il intégrer à la D.I. pour favoriser l'émergence d'une vision claire de la nature de la science chez les enseignants ?*

Notre étude a confirmé que les enseignants français du primaire n'avaient pour la plupart, comme on le savait de leurs collègues américains, qu'une vision assez floue de la nature de la science. Ils n'évoquent pas spontanément de critères de scientificité et ceux qu'ils mettent spontanément en œuvre se limitent le plus souvent au constat de la nature expérimentale d'une pratique, ou de l'emploi d'un vocabulaire présumé savant.

Vivre une démarche d'investigation simple ne semble pas suffire à modifier leur vision de la science, qui relève majoritairement d'une forme d'empirisme naïf. Le test en situation de différentes stratégies pédagogiques a fait apparaître que les plus efficaces intégraient à la démarche d'investigation une composante épistémologique, avec la présentation explicite d'éléments de la méthode scientifique ou l'introduction de critères de scientificité.

Cette approche mixte conduit les enseignants à affiner leur représentation de la science. Elle semble en outre leur permettre de reprendre confiance dans leur propre capacité à enseigner, sinon la science, du moins la science scolaire. Les éléments méthodologiques qu'ils sont amenés à y associer sont travaillés sous forme d'éléments de scientificité ou de critères de scientificité.

Question de recherche 3.

Y a-t-il une limite d'âge inférieure pour faire légitimement de la science à l'école primaire ?

3.a. *Quels critères de scientificité un enseignant peut-il appliquer avec des élèves de grande section de maternelle ?*

3.b. *Quelles compétences méthodologiques proprement scientifiques peuvent-elles être développées par des élèves de grande section ayant pratiqué des démarches d'investigation ?*

3.c. *Peut-on travailler la modélisation scientifique dès l'école maternelle ?*

Nous n'avons pas étudié la capacité des très jeunes enfants (4 ans et moins) à s'approprier des éléments de méthode scientifique. Le simple bon sens suggère l'existence d'une limite d'âge inférieure en-deçà de laquelle il serait sans doute absurde de parler de pratique scientifique — comment l'envisager par exemple pour un bébé encore incapable de comprendre ce que lui disent ses parents ? Nous n'avons toutefois seulement établi, ou plutôt confirmé, au cours de ce travail que le fait que cette limite, si elle existait, serait inférieure ou égale à l'âge de 5 ans. Cette estimation est en-deçà de l'estimation la plus courante, et de ce que semblent suggérer les programmes de l'école primaire française.

Des élèves ayant vécu des démarches d'investigation s'avèrent en effet capables non seulement de revendiquer la primauté de l'expérience dès la grande section de maternelle (5-6 ans), mais aussi de mettre en œuvre des tests de reproductibilité ou de robustesse d'une expérience, et même d'identifier les paramètres pertinents d'un problème et de naviguer entre des représentations (e.g. albums jeunesse) et le monde physique, c'est à dire de s'approprier les rudiments de la modélisation scientifique, même s'il n'en perçoivent pas forcément l'importance.

Il est donc possible pour un enseignant en grande section de considérer légitimement qu'il pratique la science scolaire avec ses jeunes élèves.

9.2. PERSPECTIVES DE RECHERCHE EN DIDACTIQUE DES SCIENCES

Les propositions curriculaires de la Partie 8 constituent autant d'éléments de "prospective pédagogique". Il va de soi que le praticien-chercheur, dans sa propre pratique de formateur, continuera à développer et à tester l'approche proposée au cours du présent travail, à en raffiner et à en promouvoir les outils à l'usage des enseignants du primaire.

De nombreuses pistes de recherche plus fondamentales restent également à explorer du point de vue de la didactique des sciences.

9.2.1. Critères de scientificité et définitions de la science

Comparaison des critères de scientificité pertinents pour la physique, la biologie et d'autres disciplines de la science scolaire

Le jeu de critères de scientificité construit dans la Partie 5 s'est révélé opératoire pour les pratiques relevant de la physique à l'école primaire, mais n'a pas été confronté à celles relevant d'autres disciplines scolaires, comme la biologie.

Il ne fait guère de doute pour nous que la procédure que nous avons développée pourrait être employée, *mutatis mutandis*, dans chacune de ces disciplines. On constaterait sans doute alors un fort recouvrement entre les jeux de CS ainsi élaborés à partir de la même tradition épistémologique et historique. Pour autant, ce n'est pas nécessairement le cas de l'ensemble des critères : certains peuvent s'avérer trop sélectifs et inapplicables dans une discipline particulière, d'autres y devenir triviaux. Par ailleurs, des difficultés spécifiques pourraient induire des nuances de formulation, voire des reformulations complètes de critères par ailleurs communs à plusieurs disciplines.

Il serait donc intéressant d'entreprendre une étude similaire à celle menée à bien pour la physique pour les autres disciplines réputées scientifiques enseignées à l'école. L'analyse des différences et des nuances ainsi mises à jour permettrait seule de conclure sur "la science scolaire" dans toute la généralité de ce concept.

Exploration de la transition entre sciences scolaires du primaire et du secondaire

Une motivation initiale de la présente étude était le constat de la faible efficacité de l'approche majoritaire, *top-down*, de la nature de la science après édulcorations successives pour l'adapter aux publics de l'école primaire.

Inversement, notre approche *bottom-up*, qui apparaît bien adaptée à l'école primaire, est fondée sur des pratiques de classe locales et élémentaires. Fortement réductrice par construction, elle est donc *a priori* incapable de rendre compte de caractéristiques globales pourtant essentielles de la "science des scientifiques" — celles-là mêmes que Norman L. Lederman, par exemple, place au cœur de son approche *top-down*¹. En effet, un consensus semble établi parmi les didacticiens des sciences sur la nécessité de faire prendre conscience aux futurs scientifiques, et plus généralement aux futurs

1. Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire : Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.

citoyens en fin d'études secondaires, de la complexité de la science et de ses enjeux (ce travail pouvant être mené en cours de sciences ou, comme c'est aussi traditionnel en France, dans les cours de philosophie au programme de Terminale).

Il semble donc y avoir une assez profonde différence de nature entre les sciences scolaires du primaire et du secondaire (ainsi, comme nous l'avons montré en § 5.7.1., qu'entre les cultures savantes correspondantes). Un corollaire est l'existence d'une nécessaire transition entre ces deux approches de la science, de sa nature et par suite de son enseignement.

Or cette transition semble avoir été rarement identifiée, et *a fortiori* explicitée, aussi bien en France, où la problématique de la nature de la science reste peu présente dans le champ didactique, que dans le monde anglo-saxon, où elle se concentre sur la science scolaire du secondaire et la transition entre cette dernière et la science professionnelle.

Un projet intéressant serait donc une analyse plus fine de la transition entre sciences scolaires du primaire et du secondaire, aussi bien du point de vue théorique que de celui de ses conséquences éventuelles sur le "décrochage" en sciences de nombreux élèves du secondaire, alors que la grande majorité des élèves du primaire (98 % dans notre étude²) tendent à plébisciter cette discipline. Il conviendrait en outre d'évaluer les stratégies d'accompagnement des élèves lors de cette transition.

Rôle pour les élèves de définitions explicites de la science

Une autre intuition motivant ce travail était que l'absence de vision claire de la nature de la science constituait pour nombre d'enseignants un obstacle à un enseignement efficace des sciences à l'école primaire. Nous avons effectivement pu montrer que la présentation de critères de scientificité explicites pour les pratiques de classe pouvait contribuer à rassurer les professeurs des écoles sur leur propre capacité à offrir à leurs élèves un enseignement proprement scientifique.

La poursuite de cette approche *bottom-up* nous a permis de "remonter", d'un point de vue théorique, de ces pratiques de classe locales à une vision plus globale de la science, *via* des définitions glissantes, de complexité croissante. Il est toutefois remarquable que la quasi-totalité des enseignants du primaire concernés par cette étude se sont, eux, satisfaits de cet outil local, et ne sont pas apparus demandeurs d'un discours plus général sur la science, ou *a fortiori* de définitions explicites de celle-ci.

Il serait donc intéressant de déterminer si la justification locale de la scientificité des pratiques de classe est en effet suffisante pour lever l'essentiel des obstacles à un enseignement efficace des sciences par les professeurs des écoles — et à sa bonne réception par les élèves.

Nous n'avons pas étudié la réponse d'élèves de l'école primaire, et en particulier du cycle 3, à la présentation de critères de scientificité explicites, mais il semble plausible qu'elle soit en grande partie similaire à celle de leurs enseignants. Il serait intéressant de déterminer à partir de quel niveau les élèves commencent à s'interroger sur la nature de la science ; si ces questionnements spontanés ne concernent que les "bons"

2. cf. § 7.5.3.

élèves et les futurs scientifiques — et en quelles proportions — ou s'ils interviennent également dans le processus de mise en retrait vis-à-vis de la sciences d'élèves en échec dans les matières réputées scientifiques ; et en ce cas dans quelle mesure l'énoncé précoce, par exemple en cycle 3 de l'école primaire, d'éléments de scientificité explicites pourrait modifier leurs représentations négatives de la science et contribuer à limiter le "décrochage" au collège et au lycée.

9.2.2. Représentations de la science par les enseignants

Conséquences des représentations de la science par les enseignants

Après avoir établi que la vaste majorité des enseignants du primaire participent soit d'une forme d'empirisme naïf, soit d'une approche archaïque de la science, nous nous sommes attachés à développer des stratégies pour faire évoluer ces représentations de la science et les rendre sinon opératoires, du moins suffisantes pour servir de base à un enseignement efficace des sciences à l'école primaire.

À ce niveau élémentaire, l'empirisme des enseignants n'est pas apparu comme un obstacle, dans la mesure où l'appropriation par les élèves, en plus des notions de base, de bonnes pratiques expérimentales constituerait déjà un succès incontestable. Il n'en irait pas nécessairement de même au collège ou au lycée, où l'on attend des élèves une maîtrise progressive d'une approche plus formelle de la science, et en particulier de la physique. Dans la mesure où l'on sait que ce passage au formalisme est l'une des causes principales du décrochage en sciences dans le secondaire, il serait donc intéressant de déterminer dans quelle mesure il peut être affecté par les représentations de la science préalablement construites, y compris à l'école primaire.

S'il s'avérait que ces représentations précoces peuvent jouer un rôle déterminant dans la suite du parcours scientifique des élèves, il conviendrait d'étudier l'influence des représentations de la science des enseignants sur celles de leurs élèves, à court comme à plus long terme. En particulier, il serait alors utile de déterminer les conséquences de l'empirisme naïf majoritaire des enseignants du primaire sur la capacité de leurs élèves à dépasser eux-mêmes par la suite ce niveau de représentation.

Transition entre empirisme naïf et rationalisme

Il serait dans cette hypothèse d'autant plus intéressant de développer des stratégies de formation susceptibles de faire progresser les enseignants vers une vision plus sophistiquée de la nature de la science.

Dans la mesure où notre approche en termes de critères scientificité apparaît assez efficace pour les CS que nous avons effectivement promus en formation (primauté de l'expérience, reproductibilité, robustesse de l'expérience), il conviendrait alors d'évaluer également son efficacité pour des critères plus abstraits, comme l'exploration du spectre de généralité ou le recul.

De même, il serait intéressant de déterminer l'influence d'un travail épistémologique plus approfondi sur le rôle de la modélisation dans la transition des profils épistémologiques des enseignants de l'empirisme naïf pur vers l'intégration au moins d'une composante rationaliste.

9.2.3. Effets à moyen et long terme

Conséquences durables d'une initiation précoce à la méthode scientifique

Nous avons pu, pour la première fois à notre connaissance, montrer que l'appropriation par de jeunes enfants d'éléments de méthode scientifique pouvait s'avérer stable sur une échelle de l'ordre d'une année scolaire et au-delà.³

Ce résultat ne prendrait toutefois tout son intérêt que si l'on pouvait établir qu'une initiation précoce et progressive à la méthode scientifique peut avoir des conséquences bénéfiques durables pour les élèves et leur parcours scolaire. Il conviendrait pour cela de suivre une cohorte d'élèves ayant bénéficié d'un enseignement intégrant des éléments de scientificité explicites jusqu'au terme de leur parcours scolaire pour évaluer l'impact de cet enseignement tant sur leurs résultats en cours de science que sur leurs représentations de la science. Une telle étude nécessiterait toutefois des moyens humains et financiers conséquents, ainsi qu'une collaboration au long cours sans faille entre chercheurs et services académiques.

Effets d'une préparation précoce à la modélisation scientifique

De même, la possibilité d'une initiation précoce, dès la grande section de maternelle, à une forme de modélisation (pré-)scientifique suggère la possibilité de familiariser progressivement les élèves du primaire à cette part essentielle de l'activité scientifique sur la base de modèles analogiques. Il serait intéressant de déterminer si une préparation de ce type à la modélisation scientifique, en évitant de juxtaposer une introduction tardive au concept de modèle aux difficultés techniques des modélisations formelles permet d'atténuer le "choc du formalisme" dans le secondaire

Là encore, un tel projet passerait par le suivi à moyen terme, du primaire au lycée, d'une cohorte ayant bénéficié de cette approche, et la comparaison de ses résultats et de sa compréhension du statut et de l'utilité d'un modèle scientifique avec ceux d'élèves ayant connu une pédagogie plus traditionnelle.

9.2.4. Enseignement des sciences pour les très jeunes enfants

Nous avons établi qu'il était possible de parler de science scolaire pour des pratiques menées avec des élèves de grande section de maternelle et que ceux-ci sont capables de s'approprier des éléments de méthodologie scientifique. Ce dernier résultat repose en grande partie sur l'analyse d'entretiens semi-directif et donc sur la capacité de jeunes élèves à exprimer leurs idées, encore en cours de construction à l'école maternelle et tout particulièrement en petite section.

Possibilité de science scolaire en moyenne section de maternelle

Nous n'avons pas eu l'occasion de mener la même étude avec des classes de moyenne section. Il serait donc utile de vérifier si les mêmes conclusions que pour leurs aînés de 5/6 ans s'appliquent à des élèves de 4/5 ans. La procédure serait essentiellement la même que celle que nous avons menée en grande section, avec une

3. 16 mois pour des élèves de grande section de maternelle, § 7.2.4.

attention toute particulière à la simplicité du lexique employé lors des démarches d'investigation et des entretiens.

Possibilité de science scolaire en petite section de maternelle

La même étude avec des élèves de petite section de maternelle (3/4 ans) se heurterait à la maîtrise de la langue encore balbutiante des tout-petits. La technique des entretiens semi-directifs semblant trouver sa limite à ce niveau, il conviendrait donc de chercher parmi les outils récemment développés par les sciences cognitives ceux qui pourraient permettre d'explorer les compétences préscientifiques des très jeunes élèves.

Inversement, les techniques didactiques impliquant en particulier la démarche d'investigation, en sollicitant des modes d'interaction avec le monde inédits pour les enfants, pourraient fournir un champ d'application et de test contrôlé des théories du développement de l'enfant.

9.3. NATURE DE LA SCIENCE SCOLAIRE

Faute d'une épistémologie spécifique, tout se passe comme si la vision de la science scolaire de nombre d'enseignants reposait sur une simple analyse grammaticale : la science scolaire, c'est « la partie de la science qui se pratique à l'école ».

Cette vision fortement réductrice, et passablement naïve, présente plusieurs inconvénients majeurs :

- Elle reporte inutilement sur la science scolaire toutes les difficultés théoriques liées à la nature de la science ; or celles-ci sont rarement pertinentes à l'école, dans la mesure où elles dérivent en grande partie de considérations liées soit à la recherche, soit aux marges des connaissances actuelles.
- Rien ne garantit *a priori* que la "science scolaire" ainsi définie n'est pas un ensemble vide, ou n'incluant qu'une faible part des pratiques scolaires. Dans la mesure où son champ est par construction limité à ce qui peut être reconnu comme proprement scientifique, l'adoption de critères de scientificité particulièrement exigeants, adaptés à la science professionnelle, risque en effet d'exclure nombre de pratiques adaptées à l'école.
- Enfin, d'un point de vue pragmatique, elle projette également sur la science scolaire le rapport subjectif que les enseignants entretiennent avec "la science" : un enseignant qui s'estime généralement peu compétent (voire, comme on l'entend plus souvent, "nul") en matière de science risque de se considérer également incompetent pour en enseigner la partie scolaire, même à un niveau élémentaire.

L'approche que nous avons tenté de développer considère en revanche la science scolaire comme une culture savante à part entière, distincte de celle de la "science des scientifiques". Elle permet de prendre en compte l'intrication des deux termes de l'expression, *science* et *scolaire*, sans impasse *a priori* sur la spécificité irréductible d'une *science enseignée*.

9.3.1. Contraintes et spécificité d'une science enseignée

De façon très générale, et quels que soient la discipline ou le niveau considérés, une science enseignée apparaît en effet subsidiaire, accompagnée et évolutive.

Une science enseignée est par nature *subsidiaire*

Le concept même de "science enseignée" repose sur l'existence d'un "savoir scientifique" établi (Monde 3 scientifique, dans le modèle de Popper), qu'il s'agit d'enseigner. Cette fonction d'enseignement apparaît en quelque sorte secondaire au regard de la fonction scientifique qui consiste à produire et à valider ce savoir.

On est donc amené à distinguer la science enseignée d'une "science des scientifiques", qui inclut en particulier tout ce qui relève de la recherche et constitue, dans le lexique de Jean-Louis Martinand, la « *pratique sociale de référence* » de cette « *pratique enseignante* ». ⁴ D'autres didacticiens préfèrent parler de « *transposition didactique* ».

Dès lors que l'on peut considérer qu'une science enseignée est constituée en culture savante, elle possède ses propres objets culturels (lois et concepts scientifiques, programmes officiels, etc.). Un corollaire épistémologique de son caractère subsidiaire est toutefois que ses objets culturels sont *externes*, importés de la (ou des) culture savante principale et légitimés par elle, et non pas internes, produits et validés au sein même de cette culture savante.

Un second corollaire, d'ordre didactique, est la tension induite, au sein d'une science enseignée, entre le nécessaire refus de l'argument d'autorité, à la base même de la démarche scientifique, et la validation externe des objets culturels qui, en dernière analyse, s'y ramène fatalement.

Une science enseignée est par construction *accompagnée* et souvent *évolutive*

L'intervention d'un enseignant est une autre caractéristique évidente de toute science enseignée. "Enseignant" s'entend ici au sens très large de "personne connaissant (au moins) une voie d'accès à un savoir donné, et en accompagnant d'autres sur cette voie". De ce point de vue, la science enseignée est diamétralement opposée à la recherche scientifique, dont la vocation est au contraire d'explorer des chemins non balisés.

L'intervention de l'enseignant peut être immédiate et évidente, ou retardée et plus discrète, *via* un manuel, par exemple. Elle peut se réduire à l'assurance implicite qu'une telle voie *existe*, ou se développer jusqu'à constituer une authentique chorégraphie d'une séquence d'enseignement, y compris (voire surtout !) en démarche d'investigation.

Un corollaire de cet accompagnement est, de nouveau, l'apparition inévitable d'une tension autour du statut d'autorité de l'enseignant.

Une troisième caractéristique distinguant la science enseignée de celle des

4. Jean-Louis Martinand, « La Question de la référence en didactique du curriculum », *Investigações em Ensino de Ciências*, 2003, vol. 8(2), pp. 125–130. (p. 127)

scientifiques est sa vocation à s'adapter à son public, dans l'idéal du moins. Un corollaire immédiat est que, du point de vue du sujet accédant à cette science, elle apparaît évolutive, son objet s'approfondissant et s'enrichissant à mesure que sa propre capacité à l'aborder progresse. Du point de vue institutionnel, cette vocation est sanctionnée par les programmes officiels, différents pour chaque niveau de classe.

9.3.2. Nature de la science scolaire à l'école primaire

A ces caractéristiques très générales de la science enseignée, l'approche par critères de scientificité que nous avons développée ajoute des caractéristiques plus spécifiques.

Une science scolaire pragmatiquement désengagée

La vision strictement positiviste de "bonnes pratiques" dont la scientificité serait assurée sur la seule base de critères purement internes et locaux peut apparaître naïve, alors que la philosophie et la sociologie des sciences du XX^e siècle se sont au contraire attachées à établir le caractère collectif de la science et son interdépendance avec son contexte social, culturel, économique et politique.

Peut-on en dire autant dans le cas de la science scolaire ? La réponse peut dépendre du niveau et de la maturité du public considéré. Au lycée, il semble acquis que la formation des futurs citoyens éclairés d'une société moderne largement informée par les sciences et les techniques suppose l'acquisition, au-delà des concepts et des pratiques, de *valeurs* scientifiques ; selon les traditions pédagogiques, celles-ci peuvent être, comme en France, l'un des enjeux de l'initiation à la philosophie en classe de Terminale, ou relever du programme de sciences, comme aux États-Unis⁵.

Revendiquant une approche résolument pragmatique de l'enseignement de la physique à l'école primaire, nous avons été amenés à disqualifier la plupart de ces valeurs, trop abstraites ou sophistiquées pour ce jeune public, et à proposer pour d'autres des formulations très simplifiées. En pratique, seul l'apprentissage d'un rapport sain à l'argument d'autorité nous est apparu comme un enjeu pédagogique majeur dans les petites classes. En l'occurrence, la naïveté serait de parier sur la possibilité de plaquer une vision adulte de la science sur un esprit enfantin.

Il n'en reste pas moins que, même en amenant les élèves les plus matures à réfléchir sur le sens profond des critères de relativité d'une part, et de transmission (comme intégration dans un processus collectif) d'autre part, la science scolaire ainsi construite apparaît par nature *désengagée* aussi bien des enjeux moraux et sociétaux de notre société technoscientifique que des débats susceptibles de la parcourir.

Passée l'école primaire, et tout particulièrement à partir du lycée, l'approche par critères de scientificité devra donc être complétée non seulement d'éléments d'épistémologie explicite, mais également plus généralement, d'un apprentissage d'une réflexion sur la science et ses rapports à la société, conformément à la tradition française d'un enseignement philosophique pour tous les lycéens.

5. Ainsi, les critères choisis par N.L. Lederman pour son approche *top-down* de la nature de la science procèdent-ils explicitement de telles valeurs. N. L. Lederman. « Nature of Science : Past, Present and Future. » in Handbook of Research on Science Education, op. cit.

Toute approche de la nature de la science en termes de “bonnes” et de “mauvaises” pratiques et de critères de scientificité exclusifs est par nature normative, aux antipodes du « *Anything goes* » qu’un Feyerabend peut revendiquer pour la recherche scientifique. Pour autant, cette normativité ne nous semble pas poser problème à l’école primaire :

- Elle ne vise en aucun cas à limiter l’imagination et la créativité des élèves, que la pédagogie en démarche d’investigation vise bien au contraire à stimuler et à encourager systématiquement. Ces contraintes de la science scolaire portent avant tout sur la méthode, non sur les concepts ou sur une vision du monde.
- Les élèves y sont, pour la plupart, parfaitement conscients de “faire leurs gammes”, et n’ont aucune difficulté à généraliser à la science l’évidence enfantine que les normes et les contraintes qui s’imposent à eux ne valent pas nécessairement pour le monde des “grands”.

Elle pourrait toutefois devenir problématique si elle s’imposait sans réflexion critique à des lycéens, ou *a fortiori* à des adultes. De ce point de vue également, à ces niveaux plus avancés, il apparaît que l’approche *bottom-up* de la science doit être complétée d’une manière ou d’une autre par une réflexion sur les valeurs de la science — y compris la valeur relative des critères de scientificité rencontrés jusque là.

Par ailleurs, si les normes méthodologiques ne s’imposent pas avec la même force aux scientifiques chevronnés qu’aux enfants de primaire, elles n’en font pas moins partie de leur expérience personnelle consciente. Vérifier la robustesse ou la reproductibilité d’une expérience, même aussi “mondaine” que la préparation de crêpes à l’école maternelle est une démarche parfaitement identifiable comme (pré-) scientifique par un professionnel. C’est donc déjà partager avec celui-ci une expérience commune et participer d’une subjectivité collective de transition vers la culture savante scientifique.

9.4. *DA CAPO*

La motivation initiale de cette thèse était d’aider les enseignants à se doter d’une représentation de la science qui rétablisse leur lien personnel avec cette culture et les rassure sur leur capacité à enseigner les sciences dans leur classe. Nous avons pour cela développé des outils épistémologiques qui semblent bien acceptés par les enseignants du primaire, tout du moins ceux des Alpes-Maritimes, et nous avons montré qu’il était possible pour des enseignants de les mettre en œuvre dès la grande section de maternelle.

Leur appropriation rapide par quelques circonscriptions de l’Académie de Nice — et par l’entremise de leurs I.E.N. et de leurs conseillers pédagogiques de plusieurs dizaines d’enseignants — est une immense satisfaction, de même que l’éclosion spontanée dans la région de dizaines de projets d’école autour de jardins des sciences.

Mon vœu le plus cher est que ces idées continuent à séduire de plus en plus de formateurs et d'enseignants et contribuent à ramener le goût de la science dans de très nombreuses écoles, ici et ailleurs. Je ne doute pas qu'ils seront comme moi récompensés au centuple par les yeux brillants de plaisir de leurs jeunes élèves.

Table des matières

1. INTRODUCTION	5
SOMMAIRE	9
2. ETAT DES LIEUX ET GENERALITES	13
2.1. Une représentation de la science problématique	15
2.2. Quelques définitions et outils théoriques	20
2.2.1. Théorie des trois mondes et subjectivités collectives	20
2.1.1. Le monde physique et ses représentations	20
2.1.1.1. Une approche réaliste et empirique	20
2.1.1.2. Théorie poppérienne des trois mondes	25
2.1.1.3. Habitants du monde 1 et du monde 2	26
2.1.2. De la subjectivité collective au monde 3	27
2.1.2.1. Groupes sociaux et subjectivités collectives	28
2.1.2.2. Objects culturels et culture savante : une approche constructiviste	29
2.1.2.3. Culture savante scientifique et monde 3 scientifique	33
2.2.2. Langage et apprentissage dans la théorie des trois mondes	35
2.2.1. Langage commun et encyclopédies personnelles	35
2.2.2. Eléments du monde 2 pertinents pour l'apprentissage	37
2.2.3. Déplacements dans le monde 2 et apprentissage	39
2.2.3. Conceptions initiales et obstacles épistémologiques	41
2.3.1. Conceptions initiales	41
2.3.1.1. Origines de la notion	41
2.3.1.2. Conceptions initiales et modèles de l'apprendre	43
2.3.2. Obstacles épistémologiques	45
2.2.4. Représentations, modèles et théories physiques	46
2.4.1. Paramètres	46
2.4.2. Maquettes et simulations	48
2.4.2.1. Maquettes et petits objets	48
2.4.2.2. Simulations du monde	50
2.4.2.3. Simulations prospectives et spéculatives	54
2.4.3. Modèles	54
2.4.3.1. Modèles explicites	55
2.4.3.2. Typologie des modèles	57
2.4.3.3. Modèles canoniques	58
2.4.4. Théories et lois physiques	60
2.4.4.1. Théories	60

2.4.4.2. Lois	61
2.4.5. Principes et paradigmes scientifiques	62
2.4.5.1. Principes et concepts fondamentaux	62
2.4.5.2. Paradigmes scientifiques	64
2.4.6. Stratégies de validation et de remise en cause d'une représentation physique	66
2.4.7. Enjeux didactiques	68
2.2.5. Observations et expériences	69
2.5.1. Expériences	69
2.5.1.1. Définitions	69
2.5.1.2. Typologie	71
2.5.1.3. Expériences scolaires vs. expériences de recherche	73
2.5.2. Observations	73
2.2.6. Représentations de mondes imaginaires	74
2.6.1. Modèles d'un monde imaginaire	76
2.6.2. Simulations d'un monde imaginaire	77
2.3. Eléments de scientificité	78
2.3.1. Synthèse du corpus historique et épistémologique	78
3.1.1. Corpus historique	78
3.1.1.1. Naissance de la physique aristotélicienne	78
3.1.1.2. Période scolastique	79
3.1.1.3. Période copernicienne	80
3.1.1.4. Période galiléenne et cartésienne	81
3.1.1.5. Période newtonienne	82
3.1.1.6. Naissance de la physique contemporaine	83
3.1.2. Corpus épistémologique	84
3.1.2.1. La réaction contre le scientisme positiviste : Bergson et Meyerson	84
3.1.2.2. Empirio-criticisme et conventionnalisme	85
3.1.2.3. Le positivisme logique	87
3.1.2.4. Popper et la réfutabilité	88
3.1.2.5. La crise post-poppérienne	89
3.1.2.6. Wimsatt et le tournant pratique de l'épistémologie	90
3.1.2.7. Une philosophie des sciences pour des êtres limités ?	91
2.3.2. Science de l'arrière et pratiques sociales de référence	93
3.2.1. Science scolaire <i>vs.</i> science des scientifiques	93
3.2.2. Pratiques sociales de référence	94
3.2.3. Une approche <i>top-down</i> de la science scolaire	95
3.2.3.1. Une épistémologie par le consensus	95
3.2.3.2. Vers une épistémologie pratique de l'investigation	96
2.3.3. Nature de la science à l'école primaire	98

3.3.1. La nature de la science dans les programmes scolaire	98
3.3.1.1. En France et en Suisse, des programmes prudents	98
3.3.1.2. Des programmes anglo-saxons explicites	100
3.3.1.3. Synthèses : des attentes variées	106
3.3.2. Synthèse du corpus didactique	106
3.3.2.1. Consensus d'experts	106
3.3.2.2. Une approche <i>top-down</i> pour l'école primaire	109
3.3.2.3. En France, un accent sur la démarche	113
3.3.2.4. Nature de la science scolaire et contraintes psychocognitives	115
3.3.3. Science et non science : continuum ou démarcation ?	117
2.4. Approches de la démarche d'investigation à l'école	119
2.4.1. Une idée limpide	120
4.1.1. Une définition	120
4.1.2. Une même idée, plusieurs appellations	122
2.4.2. Diversité des approches théoriques	124
4.2.1. Des racines multiples, sources de tension	124
4.2.2. Des objectifs variés	126
4.2.3. Des formes variées	127
2.4.3. La D.I. dans les programmes de l'école primaire	129
4.3.1. En France	129
4.3.2. En Suisse	133
4.3.3. Aux U.S.A.	134
4.3.4. Au Royaume-Uni	135
2.4.4. Démarche d'investigation <i>vs.</i> pédagogie frontale	136
2.4.5. Une mise en place difficile	139
2.5. La question de la science à l'école maternelle	142
2.5.1. Des compétences aux contours flous	142
5.1.1. Stades piagétien et scientificité	142
5.1.2. Des compétences reconnues	145
2.5.2. "Découvrir le monde"	146
5.2.1. Aux U.S.A.	146
5.2.2. En Suisse	147
5.2.3. En France	148

Addendum 2.a. : Revue de littérature sur la Nature de la science à l'école élémentaire

Addendum 2.b. : Définitions de la démarche d'investigation dans les programmes européens

3. PROBLEMATIQUE	151
4. METHODOLOGIE	157
4.1. Méthodologie théorique	159
4.1.1. Identification d'un ensemble d'éléments de scientificité	159
1.1.1. Constitution du corpus historique	159
1.1.2. Limites du corpus	162
1.1.3. Identification d'éléments de scientificité	162
4.1.2. Organisation d'un ensemble de contraintes	162
1.2.1. Regroupements et élagages	162
1.2.2. Dissociations et élargissement du corpus	163
1.2.3. Catégorisation	163
4.1.3. Constitution et test d'un jeu de critères de scientificité	163
4.2 Méthodologie expérimentale	165
4.2.1. Publics adultes	165
2.1.1. La posture de praticien-chercheur	165
2.1.2. Adaptation des cours aux nécessités de la recherche	167
2.1.3. Procédures de recueil des données	169
2.1.4. Publics	169
2.1.4.1. Participants locaux	169
2.1.4.2. Participants étrangers	171
2.1.4.3. Détail des groupes	172
2.1.5. Recueil de l'information	175
2.1.5.1. Films et enregistrements audio	175
2.1.5.2. Transcriptions	177
2.1.5.3. Questionnaires	179
2.1.6. Traitement de l'information	180
2.1.6.1. Profils épistémologiques	181
2.1.6.2. Identification d'éléments d'intérêt épistémologique	182
2.1.6.3. Sélection des transcriptions	184
2.1.6.4. Analyse des transcriptions	185
2.1.6.5. Traitement des questionnaires	185
2.1.7. Représentativité du public	185
2.1.8. Questionnaires portant sur la scientificité	187
2.1.8.1. Questionnaires généraux	187
2.1.8.2. Questionnaires spécifiques	189
4.2.2. Elèves	191
2.2.1. Jardin des sciences	191
2.2.2. Observation de classe	192

2.2.3. Entretiens	193
2.2.3.1. Modalités de mise en œuvre	193
2.2.3.2. Présentation des classes	195
2.2.4. Questionnaire Jardin des Sciences	199
2.2.5. Traitement des données	200
4.2.3. Limites et discussion	201
<i>Addendum 4 : Corpus pour l'identification d'éléments de scientificité</i>	
5. CRITERES DE SCIENTIFICITE ET SCIENCE SCOLAIRE	205
5.1. Des critères de scientificité pour la science scolaire ?	207
5.1.1. Définition & emploi	208
1.1.1. Objet	208
1.1.2. Définition et emploi	208
1.1.3. Utilisation par l'enseignant et les élèves	208
5.1.2. Un contexte scolaire favorable	209
5.2. Identification et organisation	210
5.2.1. Identification des éléments de scientificité	210
2.1.1. Corpus historique	210
2.1.2. Corpus épistémologique	211
2.1.3. Corpus didactique	211
2.1.4. Corpus para-scientifique	212
2.1.4.1. "Rayons N" et science pathologique	212
2.1.4.2. « Savants fous » et physiciens non scientifiques	214
2.1.4.3. Autonomie de la science : l'affaire Lissenko	215
2.1.4.4. Postmodernisme et "Impostures intellectuelles"	216
2.1.4.5. Astrologie et pseudo-sciences	217
2.1.4.6. Méthode scientifique <i>vs.</i> scientisme	218
2.1.4.7. Vulgarisation et fiction spéculative	220
2.1.4.8. Récapitulatif	225
5.2.2. Identification de critères adaptés à l'école	226
2.2.1. Contraintes et stratégie	226
2.2.2. Examen des éléments de scientificité	227
2.2.2.1. Éléments méthodologiques	227
2.2.2.2. Éléments relatifs à l'observation et à l'expérience	228
2.2.2.3. Éléments relatifs au discours	239
2.2.2.4. Éléments relatifs à l'argumentation	230
2.2.2.5. Éléments relatifs à la théorisation	231
2.2.2.6. Éléments divers	231
2.2.2.7. Récapitulatif	232

5.3. Un ensemble de critères de scientificité à l'école	233
5.3.1. Méthodologie scientifique	233
3.1.1. Comportement	233
3.1.1.1. Intégrité	233
3.1.1.2. Transmission	254
3.1.2. Primauté de l'expérience	235
3.1.3. Représentation du monde	236
3.1.3.1. Recul	237
3.1.3.2. Exploitation du spectre de généralité	238
5.3.2. Expérience / Observation	239
3.2.1. Opportunité	239
3.2.2. Fiabilité de l'expérience	240
3.2.2.1. Reproductibilité locale	240
3.2.2.2. Robustesse	243
3.2.2.3. Organigramme de décision de la fiabilité d'une expérience	246
3.2.3. Documentation	247
3.2.3.1. Exhaustivité	247
3.2.3.2. Economie	250
3.2.3.2. Organigramme de décision général pour la documentation	251
5.3.3. Discours	252
3.3.1. Cohérence lexicale et symbolique	252
3.3.1.1. Cohérence lexicale	252
3.3.1.2. Cohérence symbolique	254
3.3.2. Non contradiction	255
3.3.2.1. Non contradiction interne	255
3.3.2.2. Non contradiction externe	258
3.3.3. Non vacuité	259
3.3.4. Relativité	260
5.3.4. Argumentation et théorisation	260
3.4.1. Cohérence logique	261
3.4.2. Argument d'autorité	262
3.4.3. Scientificité d'une loi	264
3.4.3.1. Univocité	264
3.4.3.2. Robustesse	264
3.4.3.3. Economie	267
5.4. Capacité discriminante	269
5.4.1. Toute investigation est-elle scientifique ?	269
4.1.1. Investigation de type « garagiste »	270
4.1.1.1. Spectre de généralité d'un garagiste	271
4.1.1.2. Scientificité d'une investigation de type « garagiste »	272

4.1.2. Investigations de type « policier »	273
4.1.2.1. Primauté de la procédure <i>vs.</i> primauté de l'expérience	274
4.1.2.2. Scientificité d'une investigation de type « policier »	275
5.4.2. Peut-on récuser une revendication de scientificité ?	276
4.2.1. Astrologie	276
4.2.1.1. Reproductibilité et robustesse	278
4.2.1.2. Scientificité des pratiques "astrologiques"	280
4.2.1.3. L'astrologie comme genre littéraire	281
4.2.2. Rayons N et ombrellologie	282
4.2.2.1. Robustesse et reproductibilité des expériences sur les rayons N	283
4.2.2.2. Ombrellologie	284
5.4.3. Scientificité de discours en rapport avec la science	284
4.3.1. Vulgarisation et discours d'experts	285
4.3.1.1. « L'expertise scientifique », un paradoxe permanent	286
4.3.1.2. Vulgarisateurs	287
4.3.2. Science-fiction	287
5.4.4. Retour sur la notion de CS	290
4.4.1. Spectre de généralité et science scolaire	290
4.4.2. Capacité discriminante	292
5.4.5. Des jeux de critères discriminants pour l'école primaire	295
4.5.1. Jeu entier de 21 critères	295
4.5.1.1. Un pouvoir discriminant satisfaisant	296
4.5.1.2. Un jeu de critères (trop) lourd	297
4.5.1.3. Un jeu de critères très physicien ?	299
4.5.2. Jeux restreints de critères	299
5.5. Pertinence des CS à l'école	300
5.5.1. Recouvrement avec les programmes	300
5.1.1. Recouvrement avec les exigences du programme	300
5.1.1.1. Exigences et compétences du programme sans enjeu de scientificité	300
5.1.1.2. Critères de scientificité sans écho explicite dans les programmes	300
5.1.1.3. Méthodologie et "esprit de la Main à la Pâte"	301
5.1.1.4. Recouvrement CS/ programmes au cycle 1	302
5.1.1.5. Recouvrement CS/ programmes au cycle 2	303
5.1.1.6. Recouvrement CS/ programmes au cycle 3	304
5.1.2. Possibilité de séquences adaptées	305
5.5.2. Compatibilité avec la démarche d'investigation	307
5.2.1. Eléments de scientificité intrinsèques ou implicites	307
5.2.1.1. Analyse <i>bottom-up</i> des contraintes de la D.I.	307
5.2.1.2. Comparaison avec une analyse <i>top-down</i>	318
5.2.2. Objectifs de formation	309

5.2.2.1. Formation des élèves	309
5.2.2.2. Formation des enseignants	312
5.6. Définitions <i>bottom-up</i> de la science scolaire	316
5.6.1. Construction des définitions	316
6.1.1. Principe de construction	316
6.2.2. Exemples de définitions de la science scolaire	317
5.6.2. Conséquences didactiques	319
6.2.1. Définitions glissantes	319
6.2.2. Définitions exclusives	321
6.2.3. Expression implicite ou explicite des définitions	322
5.7. Implications épistémologiques et stratégiques	324
5.7.1. La science scolaire comme culture savante	324
7.1.1. Subjectivités collectives et objets culturels de la science scolaire	324
7.1.2. Une culture savante introuvable chez les enseignants du primaire	326
7.1.3. Habitants des mondes 3 de la science scolaire	328
7.1.4. Monde 3 émergent vs. monde 3 "clef en main"	332
7.1.5. Des critères de scientificité légitimés de l'extérieur	333
5.7.2. Scientificité des pratiques vs. scientificité des connaissances	334
7.2.1. Critères portant sur des connaissances et leur représentation	335
7.2.2. Empirisme naïf et autres dérives	336
7.2.3. Critères portant sur des pratiques et empirisme rationnel	338
5.7.3. Approche <i>top-down</i>	339
7.3.1. Un projet ambitieux, des difficultés pratiques	339
7.3.2. Une approche heuristique (Lederman)	340
7.3.3. Approche valorisant les modèles (Duschl)	343
7.3.4. Stratégies d'implémentation	344
5.7.4. Approche <i>bottom-up</i> de la nature de la science	345
7.4.1. Stratégie d'implémentation d'une approche <i>bottom-up</i>	345
7.4.2. Limites de l'approche <i>bottom-up</i>	346
<i>Addendum 5. : Mauvaises pratiques scientifiques</i>	
6. APPROPRIATION DE CRITERES DE SCIENTIFICITE PAR LES ENSEIGNANTS ET FUTURS ENSEIGNANTS DE PRIMAIRE	349
6.1. Impact de la DI sur le rapport à l'expérience	351
6.1.1. Statut de l'expérience en DI	351
1.1.1. Rapport à la primauté de l'expérience	351

1.1.2. Rapport à l'autorité et à l'opportunité	353
6.1.2. Evolution du rapport à l'expérience	353
1.2.1. Formations sondées	353
1.2.2. Une meilleure compréhension de la démarche scientifique	355
1.2.3. Une primauté de l'expérience en construction	357
1.2.3.1. Formation initiale (M1 EEF & PE1)	358
1.2.3.2. Stages en formation continue	360
1.2.3.3. Synthèse	361
1.2.4. Rapport à l'autorité	361
1.2.5. Rapport au questionnement et à l'opportunité	362
1.2.6. Synthèse	364
6.2. Représentations spontanées de la science chez les enseignants	365
6.2.1. Profils épistémologiques	365
2.1.1. Profils et catégories épistémologiques de Bachelard	366
2.1.2. Adaptation de l'outil à l'étude	368
2.1.2.1. Adaptation des catégories bachelardiennes	368
2.1.2.2. Catégories et profils spécifiques	369
2.1.2.3. Outil finalisé	373
2.1.3. Profils épistémologiques des enseignants et futurs enseignants	374
2.1.3.1. Résultats globaux	374
2.1.3.2. Empiristes	377
2.1.3.3. Rationalisme	378
2.1.3.4. Réponse récursive	379
2.1.3.5. Réalisme naïf et profils additionnels	380
2.1.4. Synthèse	381
6.2.2. Critères de scientificité spontanés	381
2.2.1. Approche non spécifique	382
2.2.1.1. L'expérience, référence dominante	384
2.2.1.2. Autres éléments de scientificité spontanés	384
2.2.2. Scientificité d'une définition	385
2.2.2.1. Futurs enseignants du primaire	386
2.2.2.2. Enseignants du Brunei	389
2.2.3. Scientificité d'un schéma	389
2.2.3.1. Diversité des schémas d'expérience	390
2.2.3.2. « <i>Trop de traits !</i> »	392
2.2.3.3. Représentations conventionnelles ou non	392
2.2.3.4. Critères cités et critères absents	393
2.2.4. Scientificité d'un document scientifique	394
2.2.5. Scientificité d'une expérience	395
2.2.6. Scientificité d'une démarche	396
2.2.6.1. Lettre de Périer	397

2.2.6.2. Déroulements de classe	398
6.2.3. Bilan : Une représentation de la science peu discriminante	399
6.3. Impact d'une DI "simple" sur l'expression de CS	401
6.3.1. Expression spontanée de CS	401
3.1.1. Repérage de CS "sur le vif"	401
3.1.2. Repérage de CS hors ligne"	402
6.3.2. Expression spontanée d'éléments de scientificité	403
3.2.1. Pendant les investigations	404
3.2.2. Pendant les discussions	406
6.3.3. Expression sollicitée de CS et d'éléments de scientificité	407
3.3.1. Formation initiale (M1 EEF & PE1)	407
3.3.2. Formation continue	410
3.3.3. Une expression de CS qui reste rare	413
3.3.4. Bilan d'étape	414
6.4. Impact d'une DI enrichie sur l'expression de CS	415
6.4.1. Enrichissement métacognitif	415
4.1.1. Contexte de l'étude et données recueillies	415
4.1.2. Expression de CS et d'éléments de scientificité en cours de formation	416
4.1.2.1. Pendant les D.I.	416
4.1.2.2. Pendant les ajouts métacognitifs	417
4.1.3. Appropriation	419
6.4.2. Enrichissement méthodologique	423
4.2.1. Contexte de l'étude et ajouts méthodologiques	423
4.2.2. Expression d'éléments méthodologiques et de CS	426
4.2.2.1. Expression spontanée en D.I.	426
4.2.2.2. Expression au cours des échanges méthodologiques	427
4.2.3. Appropriation de CS et d'éléments méthodologiques en fin de formation	429
4.2.3.1. Questionnaire	429
4.2.3.2. Echanges entre participants et discussion collective	433
6.4.3. Synthèse	435
4.3.1. Une expression spontanée rare	435
4.3.2. Des apports méthodologiques efficaces	436
6.5. Appropriation de critères de scientificité explicites	437
6.5.1. Modalités de mise en œuvre	437
6.5.2. Réception de l'outil "critères de scientificité"	439

5.2.1. Perception de l'utilité des critères et perspectives d'utilisation	439
5.2.2. Hiérarchisation des critères	441
5.2.3. Influence du niveau scientifique	441
5.2.4. Premier bilan	444
6.5.3. Appropriation de critères de scientificité : premiers résultats	444
5.3.1. Appropriation des CS pendant la formation	444
5.3.2. Mise en œuvre en classe	446
6.6. Synthèse et perspectives	447
7. UNE SCIENCE POUR LES PETITS ?	449
7.1. Premiers contacts avec la méthode expérimentale en GS	451
7.1.1. Pré-requis	451
1.1.1. Capacités d'expression et de compréhension en GS	451
1.1.2. Une expérience préliminaire sur le rapport à l'autorité	452
7.1.2. Questions posées et typologie des réponses	454
1.2.1. Perception des enjeux	454
1.2.2. Paramétrisation	455
1.2.3. Reproductibilité	457
1.2.4. Rapport à l'expérience	458
1.2.5. Généralisation et formulation de lois	459
1.2.6. Représentations symboliques	460
7.1.3. Pratiques expérimentales en GS	461
1.3.1. Présentations des classes	461
1.3.2. Positionnement des élèves au regard des concepts sondés	462
1.3.3.1. Synthèse des réponses	462
1.3.3.2. Perception du jardin des sciences	466
1.3.3.3. Perception de l'objectif de l'atelier	467
1.3.3.4. Paramétrisation	468
1.3.3.5. Rapport à l'expérience	470
1.3.3.6. Reproductibilité des expériences	472
1.3.3.7. Généralisation et formulation de lois	473
1.3.3.8. Représentation symbolique	474
7.1.4. Quelques éléments de scientificité accessibles en GS	475
1.4.1. Opportunité	475
1.4.2. Primauté de l'expérience	476
1.4.3. Reproductibilité	477
1.4.3.1. Indépendance envers le lieu	477
1.4.3.2. Indépendance envers le moment	477

1.4.3.3. Indépendance envers l'opérateur	477
1.4.3.4. Reproduction d'une expérience par le même opérateur	478
1.4.4. Robustesse	478
1.4.5. Exploitation du spectre de généralité	479
1.4.6. Recul	479
1.4.7. Un premier bilan	480
7.1.5. Autres éléments de scientificité	481
7.1.6. Signification et limite de la "science" expérimentale en GS	482
7.2. Navigation entre fiction et monde physique	483
7.2.1. La fiction, un outil précieux à la maternelle	483
7.2.2. Un cas d'école (Maternelle), <i>Plouf !</i>	485
2.2.1. Présentation de l'album	486
2.2.2. Compétences mobilisées	488
2.2.1.1. Opportunité de la manipulation	489
2.2.1.2. Gestion de la dissonance histoire / expérience	489
2.2.1.3. Maîtrise du concept de poids	490
2.2.1.4. Modèle analogique	491
2.2.1.5. Statut de la fiction	491
7.2.3. Observation de pratiques de classe	492
2.3.1. Résultats	492
2.3.2. Des compétences accessibles dès la mise en œuvre	492
7.2.4. Entretiens différés	494
2.4.1. Entretiens réalisés à un, quatre et sept mois	495
2.4.1.1. Diagrammes de Kiviat	495
2.4.1.2. Remarques sur l'évaluation des entretiens	499
2.4.2. Entretiens réalisés à un an d'écart	499
2.4.3. Des compétences non triviales acquises durablement	501
7.3. Une première approche de la modélisation scientifique	502
7.3.1. Un enjeu majeur au collège	502
7.3.2. Trois compétences méthodologiques fondamentales	503
7.3.3. La modélisation à l'école primaire	504
3.3.1. Grande section de maternelle	504
3.3.2. Ecole élémentaire	506
3.3.3. Une proposition de progression	508
7.4. Retours d'enseignants de maternelle	510
7.4.1. Hiérarchisation spontanée des éléments de scientificité	510

7.4.2. Perception de l'utilité des éléments de scientificité	512
7.4.3. Perception par les enseignants de petite section	515
7.5. Définitions spontanées de la science chez les élèves de cycle 2 et 3	516
7.5.1. Une corrélation faible entre science et méthodologie	518
7.5.2. Une appropriation très majoritaire de la primauté de l'expérience	519
7.5.3. Une image des sciences très majoritairement positive	522
7.5.4. Evolution des catégories dominantes dans le temps	523
7.5.5. Représentation de la science en fonction du niveau de classe	527
7.5.6. Effet du jardin des sciences sur les réponses des élèves	529
7.5.7. Des représentations de la science en construction	536
<i>Addendum 7 : Entretiens réalisés avec des élèves de CP : diagramme de Kiviat</i>	
8. PROPOSITIONS CURRICULAIRES	537
9. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	545
TABLE DES MATIERES	559
BIBLIOGRAPHIE	573
REMERCIEMENTS	

ANNEXES

- Annexe 2.A. : Ouvrage Science à l'école côté jardin. Le Guide pratique de l'enseignant.
- Annexe 2.B. : Séquence Astronomie et mouvements relatifs : sortir du cadre ?
- Annexe 5.A. : J. Sommerville, Umbrellaology, or, methodology in social science. *Philosophy of Science*, vol. 8(4), 1941. pp. 557–566.
- Annexe 6.A.a. : Réponses des M1EEF (gp. 32-37) aux questionnaires posés en début et fin de formation
- Annexe 6.A.b. : Réponses des participants du groupe 14 aux questionnaires posés en début et fin de formation.
- Annexe 6.A.c. : Réponses des participants du groupe 38 aux questionnaires posés en début et fin de formation.
- Annexe 6.B.a. : Réponses des différents groupes sondés aux questionnaires portant sur la nature de la science
- Annexe 6.B.b. : Profils des participants sondés

- Annexe 6.C. : Lettre De Monsieur Périer A Monsieur Pascal Le Jeune
- Annexe 6.D. : Transcription du Cours PE1 2009-2010, groupe 2
- Annexe 6.E. : Transcription de la formation continue du groupe 38
- Annexe 6.F. : Questions posées par le praticien-chercheur au groupe 45 invitant à une réflexion métacognitive
- Annexe 6.G.a. : Transcription de la première journée de cours massé du groupe 45
- Annexe 6.G.b. : Transcription de la seconde journée de cours massé du groupe 45
- Annexe 6.G.c. : Transcription de la troisième journée de cours massé du groupe 45
- Annexe 6.G.d. : Transcription de la quatrième journée de cours massé du groupe 45
- Annexe 6.G.e. : Transcription d'extraits de cours réalisés avant la semaine de cours massé avec le groupe 45
- Annexe 6.H. : Réponses des étudiants du groupe 45 aux questionnaires posés
- Annexe 6.I. : Evolution individuelle des différents participants au cours de la formation en termes d'éléments de scientificité
- Annexe 6.J. : Transcription du bilan du groupe 45
- Annexe 6.K.a. : Transcription de la formation continue du groupe 54
- Annexe 6.K.b. : Réponses des participants du groupe 54 aux questions posées pendant la formation
- Annexe 6.L. : Transcription de l'animation pédagogique du groupe 67
- Annexe 6.M. : Transcription de la formation continue "Maternelle" 2011 / 2012, groupe 52
- Annexe 6.N. : Hiérarchisation des critères de scientificité en fonction de leur facilité d'utilisation par les enseignants
- Annexe 6.O. : Réponses des participants du groupe 70 relatives aux critères de scientificité
- Annexe 6.P. : Réponses des participants du groupe 63 aux questions posées en début et fin de formation et témoignages
- Annexe 6.Q. : Retours 6 mois après la formation des enseignants du groupe 63
- Annexe 7.A.a. : Transcription des entretiens réalisés à Biot
- Annexe 7.A.b. : Transcription des entretiens réalisés à Peymeinade
- Annexe 7.A.c. : Transcription des entretiens réalisés à Cagnes-sur-Mer
- Annexe 7.B. : Transcription de la séance *Plouf !* réalisée à Saint-Laurent du Var en classe de GS
- Annexe 7.C. : Réponses des enseignants du groupe 52 à propos de l'utilité des critères de scientificité pour leur pratique de classe
- Annexe 7.D. : Réponses des enseignants des groupes 59 & 60-62 à propos de l'utilité des critères de scientificité pour leur pratique de classe
- Annexe 7.E.a. : Réponses des élèves aux questionnaires posés après leur participation à un jardin des sciences
- Annexe 7.E.b. : Répartition des éléments de réponse par catégorie et par classe

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE - Didactique des sciences

- Abd-El-Khalick, F. (2001). Embedding nature of science instruction in preservice elementary science courses : Abandoning scientism, but... *Journal of Science Teacher Education*, 12(3), 215–233.
- Abd-El-Khalick, F. & Akerson, V. (2009). The Influence of Metacognitive Training on Preservice Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 31(16), 2161–2184.
- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science : a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665–701.
- Advenier, E. & Guilloppé, A. (2008). *Petit Glaçon*. Paris : Gautier Languereau.
- Akerson, V. & Abd-El-Khalick, F. (2005). « How should I know what scientists do? — I'm just a kid »: Fourth-Grade Students' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Elementary Science Education*, 17(1), 1–11.
- Akerson, V. & Donelli, L. A. (2009). Teaching Nature of Science to K-2 Students : What understandings can they attain ? *International Journal of Science Education*, 32(1), 97–124.
- Akerson, V. & Volrich, M. L. (2006). Teaching nature of science explicitly in a first grade internship setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 377–394.
- Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *Journal Of Research In Science Teaching*, 37(4), 295–317.
- Akerson, V. L., Buck, G. A., Donnelly, L. A., Nargund-Joshi, V. & Weiland, I. S. (2011). The Importance of Teaching and Learning Nature of Science in the Early Childhood Years. *Journal of Science Education Technology*, 20 (5), 537–549.
- Akerson, V. L., Townsend, J. S., Donnelly, L. A., Hanson, D. L., Tira, P. & White, O. (2009). Scientific Modeling for Inquiring Teachers Network (SMIT'N) : The Influence on Elementary Teachers' Views of Nature of Science, Inquiry, and Modeling. *Journal of Science Teacher Education*, 20, 21–40.
- Akerson, V. L., Weiland, I., Pongsanon, K. & Nargund, V. (2010). Evidence-based Strategies for Teaching Nature of Science to Young Children. *Journal of Kirsehir Education Faculty*, 11(4), 61–78.
- Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an organizing Theme for Science Curricula ». In S.K. Abell and N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 807–830). U.S.A. : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Anderson, R. (2002). Reforming science teaching : What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1–12.
- Appleton, K. (1995). Student Teachers Confidence to Teach Science : Is more science knowledge necessary to improve self-confidence? *International Journal of Science Education*, 17(3), 357–369.
- Appleton, K. (2007). Elementary Science Teaching. In S.K. Abell and N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 493–535). U.S.A. : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Aster, numéro thématique *Expérimenter, modéliser*. INRP, n°8, Anne Vérin et Yvette Ginsburger-Vogel (Ed.), 1989.
- Aster, numéro thématique *Modèle et modélisation*. INRP, n°7, Anne Vérin et Yvette Ginsburger-Vogel (Ed.), 1988.
- Aster, numéro thématique *Problème et problématisation*. INRP, n°40, Christian Orange (Ed.), 2005.
- Aster, numéro thématique *Raisonnement en sciences*. INRP, n°14, Anne Vérin et Yvette Ginsburger-Vogel (Ed.), 1992.
- Aster, numéro thématique *Représentations graphiques dans l'enseignement scientifique et technologique*. INRP, n°48, Christian Buty et Brigitte Peterfalvi (Ed.), 2009.
- Astolfi, J.-P. & Develay, M. (1989). *La Didactique des sciences*. Paris : coll. Que sais-je ? P.U.F.
- Astolfi, J.-P. (1992). Apprendre par franchissement d'obstacles ? *Repères*. 5, 103–116.
- Astolfi, J.-P. (1992). *L'Ecole pour apprendre*. Thiron : éd. ESF.
- Astolfi, J.-P. (2006). *Comment les enfants apprennent les sciences (1998)*. Paris : Ed. Retz.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles : De Boeck.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. & Verin, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences ?* Paris : Retz.
- Baeck, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H. & Li Z. (2011). Engaging Elementary Students in Scientific Modeling : the MoDeLS 5th grade Approach and Finding. *Models and Modeling*, 6, 195–218.
- Bell, R. L., Abd-El-Khalick, F., Lederman, N. G., McComas, W. F. & Matthews, M. (2001). The Nature of science and science education : A bibliography. *Science & Education*, 10(1/2), 187–204.
- Bell, R. L., Matkins, J. J. & Gansneder, B. M. (2011). Impacts of Contextual and Explicit Instruction on Preservice Elementary Teachers' Understandings of the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(4), 414–436.

- Bereiter, C (2002). *Education and Mind in the Knowledge Age*. U.S.A. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Bisault, J. (2010). Des moments de sciences à l'école primaire : quelles références... *RDST*, 1, 53–73.
- Blanquet, E., Picholle, E. & Bellagamba, U. (2012). Démarche d'investigation, pédagogie frontale et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique. In *Actes du colloque international Formes d'éducation et processus d'émancipation*, CREAD, Rennes, 22-24 mai 2012.
- Blanquet, E., Picholle, E. (2012). Faire et refaire : varier les paramètres d'une expérience pour formuler une loi robuste. In Amory, B. & Evrard T. (Eds.), *Réveille-moi les sciences ! Apprendre les sciences de 2 1/2 à 14 ans* (pp. 45-55). Belgique : De Boeck.
- Blanquet, E. (2012). Vrai, pas vrai vs. possible, pas possible : Importance d'une formulation productive pour une investigation à partir d'albums jeunesse. in Amory, B. & Evrard T. (Eds.), *Réveille-moi les sciences ! Apprendre les sciences de 2 1/2 à 14 ans* (pp.71-77). Belgique : De Boeck.
- Blanquet E. & Picholle E. (2011). Déjantages, ellipses et incohérences formatives. In E. Blanquet, E. Picholle (Eds.), *Science et fictions à l'école : un outil transdisciplinaire pour l'investigation ? Actes des premières journées Science-Fiction et Enseignement de l'IUFM de Nice* (pp. 123-132). Nice : Somnium.
- Blanquet, E. (2009). Questions de sciences. In U. Bellagamba, E. Picholle & D. Tron (Eds), *Rudyard Kipling et l'enchantement de la technique*, actes des deuxièmes journées interdisciplinaires sciences & fictions de Peyresq (pp. 171-189). Nice : Somnium.
- Bloom, J. W. (1989). Preservice Elementary Teachers Conceptions of Science : Science, Theories and Evolution. *International Journal of Science Education*, 11, 401–415.
- Bruguière, C., Héraud, J.-L. , Errera, J.-P. & Rembotte, X. (2007). Mondes possibles et compréhension du réel. La lecture d'un album en cycle 2 comme source de questionnement scientifique. *Aster*, 44, 69–106.
- Buisson, F. (1911). *Nouveau dictionnaire de pédagogie et d'instruction publique*. Paris : Hachette.
- Bybee, R. W. (2007). *Learning Science and the Science of Learning*. U.S.A. : National Science Teachers Association Press.
- Capps, D. K. & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-Based Instruction and Teaching About Nature of Science : Are They Happening ? *Journal of Science Teacher Education*, 24 (3), 497–526.
- Carey, R. L., Stauss, N. G. (1970). An Analysis of Experienced Science Teachers' Understanding of the Nature of Science. *School Science and Mathematics*, 70, 366–376.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge : MIT Press.
- Cariou, J.-Y. (2009). *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche d'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*, Thèse de doctorat, Université de Genève.
- Cariou, J.-Y. (2011). Histoire des démarches en sciences et épistémologie scolaire. *RDST*, 3, 83–105.
- Charlot, B. (1999). *Du Rapport au savoir*. Paris : Anthropos.
- Chinn C. A. & Malhotra B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools : A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218.
- Clough, M. P. & Olson, J. K. (2004). The Nature of Science : Always Part of the Science Story. *The Science Teacher*, 71(9), 28–31.
- Colburn, A. (2000). An Inquiry Primer. *Science Scope*, 23(6), 42–44.
- Collectif (2007). *Taking Science to School : Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. R. A.Duschl, H. A. Schweingruber & A. W. Shouse (Eds). Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. U.S.A. : The National Academies Press.
- Collectif. (1997). Misconceptions as barriers to understand science. In *Science Teaching Reconsidered : a Handbook* (pp. 27–32). Committee on Undergraduate Science Education, National Research Council. U.S.A. : The National Academies Press.
- Collectif. (2002). *The role of communication in learning to model*. In P. Brna, M. Baker, K. Stenning et A. Tiberghien (Eds.). Londres : Lawrence Erlbaum associates.
- Collectif. (2005). *Problème et problématisation*. Christian Orange (Ed.). *Aster*, 40. Paris : INRP.
- Collectif. (2007). *Séquences d'investigation en physique-chimie*. In Jean-Marie Boilevin et Ludovic Morge (Eds.). France : coll. Repères pour agir, CRDP d'Auvergne, éd. Scérén.
- Collectif. (2008). *Argumenter en classe de sciences*. In Christian Buty et Christian Plantin (Eds.). Lyon : INRP.
- Danusso, L., Testa I. & Vicentini, M. (2010). Improving Prospective Teachers' Knowledge about Scientific Models and Modelling : Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871–905.
- de Vecchi, G. (2006). *Enseigner l'expérimental en classe*. Paris : Hachette éducation.
- de Vecchi, G. & Carmona-Magnaldi, N. (2007). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Paris : Hachette éducation.
- Develay, M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Thiron : éd. ESF.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. New-York : Macmillan.
- Didaskalia*, numéro thématique *L'Expérimental dans l'enseignement des sciences*. INRP, n°9, Louise Guilbert (coord.), 1996.

- Duschl, R. & Grandy, R. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139.
- Eastes, R.-E. & Pellaud, F. (2004). Un Outil pour apprendre : l'expérience contre-intuitive. *Bulletin de Union des Professeurs de Physique et de Chimie*. 98(866), 1197–1208.
- Eltgeest, J. (2012). La Bonne question, au bon moment. In Wynne Harlen (Ed.), *Enseigner les sciences : comment faire ?* (pp. 41–55). Paris : Le Pommier.
- Genzling, J.-C. (1991). Construire des méthodes à l'école élémentaire : la séparation des variables et la modélisation. *Aster*, 12, 39–60.
- Gilbert J. K. & Watts, D. M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions : changing perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61–98.
- Gingras Y. & Godin, B. (1997). Expérimentation, instrumentation et argumentation. *Didaskalia*, numéro thématique *Expérimentation et Modélisation*, 11, 149–160.
- Giordan A. & De Vecchi, G. (1987). *Les Origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques* (réédité en 2012 sous le titre *Aux Origines du savoir*, éd. Ovadia). Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Giordan, A. (1976). *Rien ne sert de courir, il faut partir à point*, Thèse de Doctorat, Université Paris V et Paris VII.
- Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : coll. Guide Belin de l'enseignement, Belin.
- Giordan, A. & Coquidé-Cantor M. (1997). *L'Enseignement scientifique à l'école maternelle*. Nice : Z'édicions.
- Giordan, A. & Pellaud, F. (2008). *Comment enseigner les sciences*. Paris : Delagrave.
- Grangeat, M. (2012). Une Modélisation pour identifier les effets du travail collectif dans les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation. In *Actes du colloque international Formes d'éducation et processus d'émancipation*, CREAD, Rennes, 22-24 mai 2012.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C.L. (1991). Understanding models and their use in science : Conceptions of middle and high school students and experts. *J. Res. Sci. Teach.*, 28(9), 799–822.
- Harlen W. (2012). *Assessment & Inquiry-Based Science Education : Issue in Policy and Practice*. Italie : éd. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Program (SEP).
- Harlen, W. & Léna, P. (2011). *10 Notions-clés pour enseigner les sciences de la maternelle à la 3^e*. Paris : Belin/Le Pommier.
- Haury, D. L. (1993). *Teaching science through inquiry*. Publication en ligne Accessible sur le site ERIC Clearinghouse for Science Mathematics and Environmental Education.
- Host, V. (1973). L'Initiation à la méthode scientifique : l'étude de la nature. In Louis Legrand (Ed.), *Pédagogie fonctionnelle pour l'école élémentaire*, t. 2. Paris : Nathan.
- Host, V. (1978). Les Démarches spontanées d'apprentissage et la formation scientifique. *Education et développement*, 128.
- Host, V. (1989). Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques. *Aster*. 8, 187–209.
- Ingham A. & Gilbert, J. K. (1991). The Use of Analog Models by Students of Chemistry at Higher Education Level. *International Journal of Science Education*, 13(2), 193–202.
- Institut Français de l'éducation (2012). *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. Rapport d'enquête IFE - ENS de Lyon*.
- Joshua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Jenkins, E. (2007). School Science : a questionable construct ? *Journal of Curriculum Studies*, 39(7), 265–282.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331–359.
- Lederman, N. G. (2007) Nature of Science : Past, Present and Future. In S.K. Abell and N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831–880). U.S.A. : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S. & Antink, A. (2013). Nature of Science and Scientific Inquiry as Contexts for the Learning of Science and Achievement of Scientific Literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138–147
- Ledrapier, C. (2007). *Le Rôle de l'action dans l'éducation scientifique à l'école maternelle ; cas de l'approche des phénomènes physiques*, Thèse d'état. Ecole Normale Supérieure de Cachan.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (2000). Inventing data structures for representational purposes : elementary grade students' classification models. *Mathematical Thinking and Learning*, 2, 51–74.
- Liu, X. (2012). Developing Measurement Instruments for Science Education Research. In B. J. Fraser et al. (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 651–665). Springer International Handbook of Education, Vol. 24.
- MacDonald, C. V. (2010). The Influence of Explicit Nature of Science and Argumentation Instruction on Preservice Primary Teacher' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(9), 1137–1164.

- Martinand, J.-L. (1979). Acquis et perspectives de la recherche sur les activités d'éveil en Physique et technologie. *Les Cahiers de Fontenay, 16 Sciences Physiques*, E.N.S. Fontenay, 109–125.
- Martinand, J.-L. (1985). Sur la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences physiques. *Aster*, 1, 141–154.
- Martinand, J.-L. (1998). Introduction à la modélisation. In *Actes de l'Université d'été Tecne*, E.N.S. Cachan, 6-10 juillet 1998.
- Martinand, J.-L. (2003). La Question de la référence en didactique du curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(2), 125–130.
- Mathé, S. & de Hosson, C. (2008). La Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41–76.
- Maurines, L. (1992). Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. *International Journal of Science Education*, 14(3), 279–293.
- McComas, W. F. & Olson, J. K. (1998). The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education : Rationales and Strategies* (pp. 41–52). Dordrecht : Kluwer.
- Meheut, M., Saltiel E. & Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12-year-old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83–93.
- Meirieu, P. (1989). *Apprendre... oui, mais comment ?* Thirion : éd. ESF.
- Metz, K. E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65(2), 93–127.
- Metz, K. E. (2004). Children's Understanding of Scientific Inquiry: Their Conceptualization of Uncertainty in Investigations of Their Own Design. *Cognition and Instruction*, 22 (2), 219–290.
- Metz, K. E. (2011). Disentangling Robust Developmental Constraints from the Instructionally Mutable: Young Children's Epistemic Reasoning about a Study of Their Own Design. *Journal of the Learning Sciences*, 20(1), 55–110.
- Morrison J. A. & Lederman, N. G. (2003). Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions. *Science Education*, 87(6), 849–867.
- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change ? *Science and Education*, 4(3), 267–285.
- Murphy, C., Murphy, C. & Kilfeather, P. (2011). Children making sense of science. *Research in Science Education*, 41(2), 283–298.
- National Research Council (2007). *Ready, Set, Science! : Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms*. In S. Michaels, A.W. Shouse et H.A. Schweingruber (Eds.). U.S.A. : The National Academies Press.
- OECD (2009). *Pisa 2009 Assessment Framework – Key Competencies In Reading, Mathematics And Science*.
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An Overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.
- Orange-Ravachol, D. & Triquet, É. (2007). Sciences et récit, des rapports problématiques. *Aster*, 44, 7–22.
- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. Bruxelles : De Boeck.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science ? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2001). *What should we teach about science ? A Delphi study*. Londres : King's College.
- Osborne, J., Simon, S. & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079.
- Pélissier, L. (2011). *Etude de pratiques d'enseignement de savoirs de l'épistémologie en classe de physique de lycée général, Thèse de doctorat*. Université de Toulouse 2 Le Mirail.
- Pellaud, F., Eastes R.-E., & Giordan, A. (2004). Des modèles pour comprendre l'apprendre : de l'empirisme au modèle allostérique. *Gymnasium Helveticum*.
- Penner, D., N. D. , Giles, Lehrer, R. & Schauble, L. (1997). Building functional models : Designing an elbow ». *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125–143.
- Peterfalvi, B. (2006). Problématisation et travail sur les obstacles en sciences. In M. Fabre & E. Vellas (Eds.), *Situations de formation et problématisation* (pp. 91–106). Bruxelles : éd. De Boeck.
- Piaget, J. (1920). La Psychanalyse dans ses rapports avec la psychologie de l'enfant. In *Bulletin de la Société Alfred Binet*, 1, 18–34.
- Piaget, J. (1950). *Introduction à l'épistémologie génétique. Tome I : La pensée mathématique*. Paris : P.U.F.
- Piaget, J. (1950). *Introduction à l'épistémologie génétique. Tome II : La Pensée physique*. Paris : P.U.F.
- Piaget, J. (1967). L'Épistémologie et ses variétés. In J. Piaget (Ed.), *Logique et connaissance scientifique*. Paris : coll. Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard NRF.
- Piaget, J. (1977). *La Naissance de l'intelligence chez l'enfant* (1936). Lausanne : Delachaux & Niestlé.
- Pittaway, L. (2007). The Role of Inquiry-Based Learning in Entrepreneurship. Education. *Industry and Higher Education*, 23(3), 153–162.
- Pluta, W. J., Clark, C. A. & Duncan, R. G. (2011). Learners' Epistemic Criteria for Good Scientific Models. *Journal of research in Science Teaching*, 48(5), 486–511.

- Quigley, C., Pongsanon, K. & Akerson, V. L. (2011). If we teach them, they can learn : Young students' views of nature of science during an informal science education program. *Journal of Science Teacher Education*, 22(2), 129–149.
- Raynal F. & Rieunier, A. (1997). *Pédagogie, dictionnaire des concepts-clés*. Thiron : éd. ESF.
- Rebière, M., Schneeberger, P. & Jaubert, M. (2008). Changer de position énonciative pour construire des objets de savoirs en sciences : le rôle de l'argumentation. in C. Buty & C. Plantin (Eds.), *Argumenter en classe de sciences*. Lyon : INRP.
- Resta-Schweitzer, M. (2010). *Initiation scientifique et développement intellectuel du jeune enfant*, Thèse de Doctorat, Université d'Angers.
- Reuter, Y. (2007). Récits et disciplines scolaires. *Pratiques*, 133-134, 3–12.
- Robardet, G. & Guillaud J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : P.U.F.
- Rolando, J.-M., Pommier, P., Simonin, M.-L., Simonin, G., Nombrot, J., Laslaz, J.-F. & Combaluzier, S. (2010). *Sciences, Guide du maître cycle 3*. Paris : coll. Odysseo, Magnard.
- Rolando, J.-M., Pommier, P., Simonin, M.-L., Simonin, G., Nombrot, J., Laslaz, J.-F. & Combaluzier, S. (2010). *Sciences, 64 enquêtes pour comprendre le monde, cycle 3*. Paris : coll. Odysseo, Magnard.
- Roletto, E. (1998). La Science et les connaissances scientifiques : points de vue de futurs enseignants. *Aster*, 26, 11–30.
- Saltiel, E. (2005). *La Démarche d'investigation : comment faire en classe ?* Publication en ligne le 21 octobre 2005. Accessible sur le site de la Fondation La Main à la Pâte.
- Samarapungavan, A., Mantzicopoulos, P. & Patrick, H. (2008). Learning Science Through Inquiry in Kindergarten. *Science Education*, 92(5), 868–908.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(5), 634–656.
- Sandoval, W. A. & Cam, A. (2011). Elementary Children's Judgments of the Epistemic Status of Sources of Justification. *Science Education*, 95(3), 383–408.
- Santini, J. (2009). *Caractérisation de l'élaboration conjointe de la compréhension conceptuelle et des performances associées. Volcans et séismes au cours moyen*, Thèse de doctorat, Université Rennes 2.
- Saunders-Stewart, K. S., Gyles, P. D. T. & Shore, B. M. (2012). Student Outcomes in Inquiry Instruction: A Literature-Derived Inventory. *Journal of Advanced Academics*, 23 (1), 5–31.
- Scharmann, L.C. & Smith, M.U. (2001). Defining versus describing the nature of science : A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. *Science Education*, 83(4), 493–509.
- Sensevy, G. (1998). *Institutions didactiques. Etude et autonomie à l'école élémentaire*. Paris : P.U.F.
- Shen, J. & Confrey, J. (2010). Justifying Alternative Models in Learning Astronomy : a study of K-8 science teachers' understanding of frames of reference. *International Journal of Science Education*, 32(1), 1–29.
- Svoboda, J. & Passmore, C. (2013). The Strategies of Modeling in Biology Education. *Science & Education*, 22(1), 119–142.
- Szterenbarg, M. (1991). Elaborer l'idée d'expérience. *Aster*, 12, 75–84.
- Tan, A.-L. & Wong H.-M. (2012). "Didn't Get Expected Answer, Rectify It": Teaching science content in an elementary science classroom using hands-on activities. *International Journal of Science Education*, 34(2), 197–222.
- The Interacademy Panel (2009). *Teacher Professional Development in Pre-Secondary School Inquiry-Based Science Education*, Wynne Harlen & Jorge Allende (dir.), I.A.P.
- Thomm, E. & Bromme, R. (2012). "It Should at Least Seem Scientific!" Textual Features of "Scientificness" and their Impact on Lay Assessments of Online Information. *Science Education*, 96(2), 197–211.
- Thornton, A. & Raihani, N. J. (2008). The Evolution of Teaching. *Animal Behaviour*, 75, 1823–1836.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a Basis for Analyzing Teaching-Learning Situations. *Learning and Instruction*, 10(4), 71–87.
- Treagust, D., Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.
- Tytler, R. & Peterson, S. (2003). From "Try It and See" to Strategic Exploration : Characterizing Young Children's Scientific Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(1), 94–118.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique, La part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck.
- Viennot, L. (2011). *En Physique, pour comprendre*. Paris : EDP Sciences.
- Virginie Albe et Christian Orange. « Sciences des scientifiques et sciences scolaires ». *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 2010, n°2, pp. 19–26
- Vosnadiou, S. & Brewster, W. F. (1994). Mental Models of the Day / Night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123–183.
- Wade D. (1983). Draw-a-scientist ». *Science Education*, 67(2), 255–265.
- Wooley, J. & Cox, V. (2007). Development of Beliefs about Storybook Reality. *Developmental Science*, 10(5), 681–693.
- Yeh, Y.-F., Jen T.-H. & Hsu, Y.-S. (2012). Major Strands in Scientific Inquiry through Cluster Analysis of Research Abstracts. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2811–2842.
- Zeilik, M., Schau, C. & Mattern, N. (1998). Misconceptions and Their Change in University-Level Astronomy Courses. *The Physics Teacher*, 36(1), 104.

BIBLIOGRAPHIE - Programmes officiels

Bulletin Officiel Hors-série n°3 du 19 juin 2008, NOR MENE0813240A

Bulletin Officiel n°1 du 5 janvier 2012, NOR MENE1131499A

Bulletin Officiel n°23 du 15 juin 2000, NOR : MENE0000803N

Ministère de l'Éducation nationale. (2005). *Découvrir le monde à l'école maternelle. Le vivant, la matière, les objets*. Paris : CNDP.

Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation Nationale et de la Recherche, Direction de l'enseignement scolaire, Académie des sciences - *La Main à la Pâte*. (2002). *Enseigner les sciences à l'école. Outil pour la mise en œuvre des programmes 2002. Cycles 1, 2 et 3*. Paris : éd. CNDP.

National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. National Committee on Science Education Standards and Assessment (Eds). Washington, DC : National Academy Press.

BIBLIOGRAPHIE – Philosophie, épistémologie et histoire des sciences

Andler, D. (2002). Processus cognitifs. In D. Andler, A. Fagot-Largeault & B. Saint-Sernin, *Philosophie des sciences* t. I. Paris : col. Folio / Essais, Gallimard.

Aristote. (1997). *La Poétique*. Paris : éd. Mille et une nuits.

Armatte, M. & Dahan Dalmedico, A. (2004). Modèles et modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux. *Revue d'Histoire des Sciences*, 57(2), 245–305.

Babbage, C. (1830). *Reflections on the Decline of Science in England*. Londres : B. Fellowes.

Bachelard, G. (1948). *La Terre et les rêveries du repos*. Paris : éd. José Corti.

Bachelard, G. (1953). *Le Matérialisme rationnel*. Paris : P.U.F.

Bachelard, G. (1972). Actualité de l'histoire des sciences (1951). In *L'Engagement rationaliste*. Paris : P.U.F.

Bachelard, G. (1999). *Le Nouvel esprit scientifique* (1934) Paris : P.U.F.

Bachelard, G. (2004). *La Formation de l'esprit scientifique* (1938). Paris : Vrin.

Bachelard, G. (2008). *La Philosophie du non* (1940). Paris : coll. Quadrige, P.U.F.

Bachelard, G. (1972). De la Nature du rationalisme. In *L'Engagement rationaliste*. Paris : P.U.F.

Bacon, F. (1620). *Novum organum*.

Barberousse, A. (1999). *L'Expérience*. Paris : Flammarion.

Bergson, H. (2008). *Les Deux sources de la morale et de la religion* (1932). Paris : coll. Quadrige, P.U.F.

Bergson, H. (2013). Introduction à la métaphysique (1907). In *La Pensée et le mouvant*. Paris : coll. Quadrige, P.U.F.

Bergson, H. (2013). *L'Évolution créatrice* (1907). Paris : coll. Quadrige, P.U.F.

Bergson, H. (1998). *Durée et simultanéité* (1922). Paris : coll. Quadrige, P.U.F.

Bernard, C. (1966). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1865). Paris : éd. Garnier-Flammarion.

Berthelot, M. (1902). In *Cinquantième scientifique de M. Berthelot*, 24 nov. 1901. Paris : éd. Gauthier-Villars.

Blondlot, R. (1904). *Rayons N : recueil de communications faites à l'Académie des Sciences*. Paris : Gauthier-Villars.

Boltzmann, L. (1990). *Lectures on Natural Philosophy, 1903-1906* (Principien der Naturphilosophie). Berlin : Springer Verlag.

Bolzano, B. (2011). *Théorie de la science* (*Wissenschaftslehre*, 1837). Paris : Gallimard.

Bouveresse, J. (1998-1999). La Philosophie naturelle de Boltzmann. *Philosophie Scientiae*, 3(2), 9–30.

Bouveresse, J. (1999) *Prodiges et vertiges de l'analogie*. Québec : coll. Raisons d'agir, Liber.

Bouveresse, J. (2010). Promesses et dangers de la « société scientifique » : Les Inquiétudes de Bertrand Russell. In : *À temps et à contretemps : Conférences publiques*. Paris : Collège de France.

Bruno, G. (2006). *Le Banquet des cendres* (*La Cena de la ceneri*, 1584, trad. Yves Hersant). Paris : coll. Philosophie imaginaire, éd. de l'Éclat.

Bruno, G. *De la Magie*, éd. Allia, Paris, 2000.

Bunge, M. (1975). *Philosophie de la physique* (*Philosophy of Physics*, 1973) Paris : Seuil.

Bunge, M. (1982). Demarcating Science from Pseudoscience. *Fundamenta Scientiae*, 3, 369–388.

Campbell, D. T. (1993). Blind Variation and Selective Retention in Creative Thought as in Other Knowledge Processes (1960). In G. Radnitzky & W. W. Bartley (Eds.) *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the sociology of Knowledge* (pp. 91-114). U.K. : Open Court Publishing Company.

Carnap, R (1950). Empiricism, Semantics and Ontology. *Revue Internationale de Philosophie*, 4, 20–40.

- Carnap, R (1956). The Methodological Character of Theoretical Concepts. In H. Feigl & M. Scriven (Eds.), *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis* (pp. 38–76). U.S.A. : Univ. Minnesota Press.
- Collectif. (2002). *Enquête sur le concept de modèle* (dir. Pascal Nouvel). Paris : P.U.F.
- Comte, A. (1838). *Philosophie Positive*, t. 3. Paris : imprimeur Bachelier.
- Csibra, G. & Gergely, G (2011). Natural pedagogy as evolutionary adaptation. *Philosophical Trans. R. Soc. B.* 366, 1149–1157.
- Descartes, R. (1953). *Règles pour la direction de l'esprit* (1628). In *Œuvres & lettres*. Paris : coll. Pléiade, Gallimard.
- Descartes, R. (1996). Première méditation (*Méditations métaphysiques*, 1641). In *Œuvres et Lettres*. Paris : Bibliothèque de La Pléiade, Gallimard.
- Descartes, R. (2000). *Discours de la Méthode* (1637). Paris : Flammarion.
- Descartes, R. (2000). *Règles pour la direction de l'esprit* (1628). In *Discours de la Méthode*. Paris : éd. GF Flammarion.
- Dessus, P. (2007). La Théorie de la connaissance de Popper. *Penser l'Education*. 21, 19-31.
- Duhem, P. (1913). *Le Système du monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* (Vol.6, *Le Reflux de l'aristotélisme ; les condamnations de 1277*). Paris : Hermann.
- Fagot-Largeault, A. (2002). L'Émergence. In D. Andler, A. Fagot-Largeault & B. Saint-Sernin, *Philosophie des sciences* t. II. (pp. 945-946). Paris : col. Folio/Essais, Gallimard.
- Feyerabend, P. (1988). *Contre la méthode* (*Against Method*, 1975). Paris : coll. Points Sciences, éd. Seuil.
- Feyerabend, P. (1996). *Dialogues sur la connaissance* (*Dialogo sul metodo*, 1976). Paris : Seuil.
- Fleck L. (2005). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Les Belles lettres.
- Frank, P. (1941). *Between Physics and Philosophy*. UK : Cambridge Uni. Press.
- Frege, G. (1970). *Les Fondements de l'arithmétique* (*Die Grundlagen der Arithmetik*, 1884). Paris : coll. L'Ordre philosophie.
- Frege, G. (1994). *Ecrits posthumes*. Nîmes : éd. Jacqueline Chambon.
- Frege, G. (2000). *Idéographie* (*Begriffsschrift*, 1879). Paris : Vrin.
- Galilée. (1989). *L'Essayeur* (*Il Saggiatore*, 1623). Paris : éd. Belles Lettres.
- Galilée. (1992). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, 1632, trad. René Fréreau et François de Gandt). Paris : coll. Points Sciences, éd. Seuil.
- Gautero, J.-L. (2003). Sociologie de la connaissance scientifique et rationalité. *Noesis*, 5,2, 175–191.
- Gautero, J.-L. (2012). Hard science wars. In U. Bellagamba, É. Picholle & D. Tron (Eds.), *Imaginaires scientifiques et hard science fiction* Nice : éd. du Somnium.
- Gautero, J.-L. (2012). Note sur les subjectivité(s) collective(s) chez Klein et chez Guattari. In U. Bellagamba, E. Picholle & D. Tron (Eds.), *Les Subjectivités collectives* (pp. 84–87). Nice : éd. Somnium.
- Gautero, J.-L. (2012). Subjectivités collectives et collectifs de pensée. In U. Bellagamba, E. Picholle & D. Tron (Eds.), *Les Subjectivités collectives* (pp. 163–176). Nice : éd. Somnium.
- Hacking, I. (1981). Introduction à *Scientific Revolutions*. In I. Hacking (Ed.), *Scientific Revolutions*. U.K. : Oxford Univ. Press.
- Hempel, C. (2006). *Eléments d'épistémologie* (*Philosophy of Natural Science*, 1966). Paris : Armand Colin.
- Jardin, L. (2003). *The Curious Life of Robert Hooke. The Man Who Measured London*. Londres : éd. Harper perennial.
- Kant, E. (2006). *Critique de la raison pure* (1781). Paris : Flammarion.
- Kepler J. (ca. 1609). *Somnium*.
- Kepler, J. (1605). Dédicace du *De Stella Nova* à Rodolphe II.
- Kepler, J. (1610). *Tertius Interveniens* 9-1 (Kepler's Astrology. Excerpts selected by K.G. Negus)
- Korzybski, A. (1994). The Role of Language in the Perceptual Processes. In *Science & Sanity. An Introduction to Non-Aristotelician Systems and General Semantics* (1933, 3^e éd., 1948). U.S.A. : The Institute of General Semantics.
- Korzybski, A. (1998). Le rôle du langage dans les processus perceptuels (« The role of langage in perceptual process », 1950 in *Perception : an approach to Personality*). In *Une carte n'est pas le territoire, Prolégomènes aux systèmes non-aristotéliens et à la sémantique générale*. Paris : éd. de l'Eclat.
- Korzybski, A. (2001). *Manhood and Humanity : The Science and Art of Human Engineering* (1921). U.S.A. : The Institute of General Semantics.
- Kuhn, T. S. (1970). Logic of Discovery or Psychology of Research. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge* (pp. 1-23). UK. : Cambridge Uni. Press.
- Kuhn, T. S. (1973). *La Révolution copernicienne* (*The Copernican Revolution*, 1957). Paris : Fayard.
- Kuhn, T. S. (1983). *La Structure des révolutions scientifiques* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962). Paris : Champs Flammarion.
- Lakatos, I. (1994). *Histoire et méthodologie des sciences. Programmes de recherche et reconstruction rationnelle* (*The Methodology of Scientific Research programmes*, 1978). Paris : P.U.F.
- Lakatos, I. (1999). Falsification and Intellectual Honesty (1973). In Matteo Motterlini (Ed.), *For And Against Method*. U.S.A. : Univ. Chicago press.

- Lakatos, I. (1999). The Demarcation Problem (1973). In Matteo Motterlini (Ed.), *For And Against Method*. U.S.A. : Univ. Chicago press.
- Latour, B. & Woolgar, S. (1988). *La Vie de laboratoire : la Production des faits scientifiques* (*Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, 1979). Paris : éd. La Découverte.
- Laudan, L. (1981). A Problem-solving Approach to Scientific Progress. In I. Hacking (Ed.), *Scientific Revolutions* (pp. 144–145). U.K. : Oxford Univ. Press.
- Laugier, S. (2002). De la logique de la science aux révolutions scientifiques. In P. Wagner (Ed.), *Les Philosophes et la science* (pp. 964–1016). Paris : Gallimard.
- Lecourt, D. (2007). Science, morale et politique. n *L'Amérique entre la Bible et Darwin* Paris : coll. Quadrige, P.U.F.
- Lévy-Leblond, J.-M. (1996). *Aux contraires*. Paris : Gallimard.
- Lévy-Leblond, J.-M. (2008). (Re)mettre la science en culture : de la crise épistémologique à l'exigence éthique. *Courrier de l'environnement de l'INRA*. 56.
- Mach, E. (1986) On the Economical Nature of Physical Inquiry. In *Popular Scientific Lectures* (pp. 186–214, *Populärwissenschaftliche Vorlesungen*, 1896). U.S.A. : Open Court.
- Mach, E. (1987). *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement* (*Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt*, 1883). Paris : Jacques Gabay.
- Mach, E. (1996). *L'Analyse des sensations. Le rapport du physique au psychique* (*Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, 1896, trad. fr. F. Eggers). Nîmes : éd. J. Chambon.
- Malolo Dissaké, E. (1996). Audi alteram partem. In Karl Popper, *La Théorie quantique et le schisme en physique* (*The Postscript to the Logic of Scientific Discovery III. Quantum Theory and the Schism in Physics*, 1982), préface. Paris : Hermann.
- Maxwell, J.C. (1855). On Faraday's Lines of Force. *The Transaction of the Cambridge Philosophical Society*. 10(1).
- Meyerson, É. (1921). *De l'Explication dans les sciences*. Paris : éd. Payot.
- Meyerson, É. (1933). *Réel et déterminisme dans la physique quantique*. Paris : Hermann.
- Meyerson, É. (1995). *De l'explication dans les sciences* (1921). Paris : Payot.
- Meyerson, É. (2000). *La Déduction relativiste* (1925). Paris : J. Gabay.
- Mill, J. S. (1868). *Auguste Comte et le positivisme* (*Auguste Comte and Positivism*, 1865, pp. 187–188). Paris : éd. Germer Baillères.
- Monod, J. (1971). L'Affaire Lyssenko, préface. In J. Medvedev, *Grandeur et chute de Lyssenko*.
- Nadeau, R. (1999). *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*. Paris : P.U.F.
- Newton I. (1687). *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*.
- Newton, I. (1713). *General Scholium*, appendice à la 2^e édition des *Principia Mathematica*.
- Newton, I. (1995). *De la gravitation* (1670, trad. par Marie-Françoise Biarnais et François de Gandt). Paris : coll. Tel, Gallimard.
- Pascal, B. (1993). *Œuvres de Blaise Pascal, II*. Paris : Hachette.
- Pascal, B. (1993). *Pensées* (1670). Paris : Flammarion.
- Platon. (1999) *Théétète* (trad. Michel Narcy). Paris : Flammarion.
- Poincaré, H. (1970). L'Avenir de la physique. In *La Valeur de la Science* (1905). Paris : Champs Flammarion.
- Poincaré, H. (2007). *La Valeur de la science* (1905). Paris : Champs Flammarion.
- Popper, K. R. (1956). *Misère de l'historicisme*. Paris : Plon.
- Popper, K. R. (1963). Truth, Rationality and Growth of Knowledge (1960). In *Conjectures et réfutations* (*Conjectures and Refutations : The Growth of Scientific Knowledge*, pp. 240–244). Londres : Routledge.
- Popper, K. R. (1979). *La Société ouverte et ses ennemis* (*The Open Society and Its Enemies*, 1945). Paris : Seuil.
- Popper, K. R. (1983). Campbell on the Evolutionary Theory of Knowledge (1974). In G. Radnitzky & W. W. Bartley (Eds.) *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the sociology of Knowledge*. U.K. : Open Court Publishing Company..
- Popper, K. R. (1984). *L'Univers irrésolu, plaidoyer pour l'indéterminisme* (*The Postscript to the Logic of Scientific Discovery II. The Open Universe*, 1982). Paris : Hermann.
- Popper, K. R. (1989). *La Quête inachevée* (*Unended quest*, 1986). Paris : coll. Agora, Pocket.
- Popper, K. R. (1993). Natural selection and the emergence of mind (1977). In G. Radnitzky & W. W. Bartley (Eds.) *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the sociology of Knowledge*. U.K. : Open Court Publishing Company.
- Popper, K. R. (1996). Amende honorable pour avoir entretenu une controverse. In Karl Popper, *La Théorie quantique et le schisme en physique* (*The Postscript to the Logic of Scientific Discovery III. Quantum Theory and the Schism in Physics*, 1982), préface. Paris : Hermann.
- Popper, K. R. (2007). *La Logique de la découverte scientifique* (*The Logic of Scientific Discovery*, 1934). Paris : éd. Payot.
- Ptolémée, C. (1993). *Syntaxe mathématique*. In Germaine Aujac, *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe* (pp. 201–202). Paris : éd. du CTHS.

- Putnam, H. (1984). *Raison, Vérité et Histoire* (*Reason, Truth, and History*, 1981). Paris : Les Editions de Minuit.
- Rousseau, J.-J. (1750). *Discours sur les sciences et les arts*.
- Russell, B. (2005). *Les Problèmes de la philosophie* (*The Problems of Philosophy*, 1912). Paris : Payot.
- Sabatier, X. (2009). *Les Formes du réalisme mathématique*. Paris : coll. Mathésis, Vrin.
- Saint-Sernin B. (1995). *La Raison au XX^e siècle*. Paris : Seuil.
- Seabrook, W. (1941). *Doctor Wood, Modern Wizard of the Laboratory*. New York : Harcourt.
- Simon, G. (1996). *Sciences et savoirs aux XVI^e et XVII^e siècles*. Paris : Presses Universitaires du Septentrion.
- Soler, L. (2008). Texte de présentation du colloque *Caractériser la robustesse des sciences après le "tournant pratique" en philosophie des sciences*, Nancy, 26-27 juin 2008.
- Sommerville, J. (1941). Umbrellaology, or, methodology in social science. *Philosophy of Science*, 8(4), 557–566.
- Thuillier, P. (1978). La Triste histoire des rayons N. *La Recherche*, 9, 1093–1101.
- Varenne, F. (2006). *Les Notions de métaphore et d'analogie dans les épistémologies des modèles et des simulations*. Paris : éd. Petra.
- Varenne, F. (2011). *Modéliser le social*. Paris : éd. Dunod.
- Vernant, D. (1998). L'Interprétation du formalisme logique. In F. Nef & D. Vernant (Eds.), *Le Formalisme en question. Le tournant des années 30*. Paris : Vrin.
- Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* (1934). Paris : La Dispute.
- Weyl, H. (1922). *Introduction à Space, Time, Matter, Space, Time, Matter*. U.S.A. : Dover Publications.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Paris : Hermann.
- Wimsatt, W. C. (2007). *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*. Cambridge, U.S.A. : Harvard éd. Univ. Press.
- Wittgenstein, L. (2011). *Tractatus logico-philosophicus* (1922). Paris : Gallimard.
- Worms, F. (2002). Entre critique et métaphysique : la science chez Bergson et chez Brunschvicg. In P. Wagner (Ed.), *Les Philosophes et la science* (pp. 403–446). Paris : Gallimard.

BIBLIOGRAPHIE – Œuvres de fiction

- Asimov, I. (1993). Les Propriétés endochroniques de la thiotimoline resublimée (*The Endochronic Properties of Resublimated Thiotimoline*, 1948). In *La Mère des mondes*. Paris : Présence du futur, n°199, Denoël.
- Asimov, I. (2004). *Les Robots, Le Cycle des Robots 1*. Paris : J'ai Lu SF.
- Asimov, I. (2009). *Fondation, Le Cycle de fondation 1*. Paris : Folio SF.
- Carroll, L. (1979). *De l'autre côté du miroir* (*Through the Looking-Glass, and what Alice Found There*, 1872). In *Tout Alice*. Paris : GF Flammarion.
- Corentin P. (1991). *Plouf !* Paris : Ecole des loisirs.
- Doyle, C. (1892). Sherlock Holmes, in « The Adventure of the Beryl Coronet ».
- Egan, G. (2009). *Incandescence*. U.K. : Gollancz.
- Heinlein, R. A. (1981). *The Number of the Beast*. U.K. : New English Library Ltd.
- Heinlein, R. A. (1987). *Time Enough for Love* (1973). U.S.A. : Penguin Group US.
- Heinlein, R. A. (2008). Grandeur et misères de la science-fiction (« Science Fiction : Its Nature, Faults and Virtues », 1957). In *Robert Heinlein et la pédagogie du réel*, (pp. 122–160). Nice : éd. Somnium.
- Heinlein, R. A. (2010). *L'Âge des étoiles* (*Time for the Stars*, 1956). Paris : Livre de Poche.
- Heinlein, R. A. (2011). *Le Vagabond de l'espace* (*Have Spacesuit — Will Travel*, 1958). Paris : Livre de Poche.
- Klein, G. (2011). *Trames et Moirés* (1986). Nice : éd. Somnium. -> **Philo**
- Meyerson, É. (2011). Bergson et Meyerson, un conte au sixième millénaire de l'ère vulgaire. In *Mélanges. Petites pièces inédites* (pp. 27–34). Paris : éd. Honoré Champion.
- Pagnol, M. (2004). *La Gloire de mon père* (1957). Paris : éd. de Fallois.
- Poe, E. A. (1993). *Eureka* (*Eureka : A prose poem*, 1848, trad. Charles Baudelaire). Pantin : éd. Le Castor Astral.

BIBLIOGRAPHIE - Autres

- Alvarez, L.W. (1987). A Physicist Examines the Kennedy Assassination Film (American Journal of Physics, 1974). In W.P. Trower (Ed.), *Discovering Alvarez* (pp. 210–224). U.S.A. : Univ. Chicago Press.
- Badiou, A., During, É., Maniglier, P., Benatouil, T., Rabouin, D., & Zarader J.-P. (2003). *Matrix : Machine philosophique*. Paris : éd. Ellipses Marketing.
- Bardière, Y. (2013). Approche linguistique, fictionnelle et didactique de la pragmatique. In Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle (Eds.), *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*. Nice : éd. Somnium.
- Bardière, Y. (2013). De l'ASF à la SF : variations lexicales sur un même thème. In Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle (Eds.), *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel* (pp. 23–28). Nice : éd. Somnium.
- Bellagamba, U. & Picholle, É. (2007). Vertiges spatio-temporels. In *Solutions non satisfaisantes. Une anatomie de Robert A. Heinlein* (pp. 175–184). Lyon : Les moutons électriques.
- Bellagamba, U. & Picholle, É. (2011). Travaux pratiques. Préface. In R. A. Heinlein, *Le Vagabond de l'espace* (pp. 7–16). Paris : Livre de Poche.
- Benford, G.A., Book, D.L. & Newcomb, W.A. (1970). The Tachyonic Antitelephone. *Phys. Rev. D* 2, 263–265.
- Bogdanoff, I. & Bogdanoff, G. (1979). *L'Effet science-fiction*. Paris : coll. Ailleurs & Demain, R. Laffont.
- Bouletreau, A., Chouanière, D., Wild, P. & Fontana, J.-M. (1999). Concevoir, traduire et valider un questionnaire à propos d'un exemple. In *EUROQUEST*, 178. Paris : INRS.
- Bretnor, R. (1953). The Future of Science Fiction. In *Modern Science Fiction*. Chicago : Advent.
- Brillouin, L. (1988). *La Science et la théorie de l'information (Science and Information Theory, 1956)*. Paris : Jacques Gabay.
- Brillouin, L. (1960). *Wave Propagation and Group Velocity*. U.S.A. : Academic Press.
- Broch, H. (1989). *Le Paranormal : ses documents, ses hommes, ses méthodes*. Paris : coll. Points sciences, Seuil.
- Chavanes, I. (2003). *Leçons de Marie Curie*, recueillies par Isabelle Chavanes en 1907. Paris : éd. EDP Sciences.
- Coleridge, S. (1983). *Biographia Literaria* (1817). In *Collected Works*. Princeton : Princeton Univ. Press.
- Collectif. (2004). Questionnaire. In Michael S. Lewis-Beck, Alan Bryman et Tin Futing Liao (Eds.), *The SAGE encyclopedia of Social Science research Methods, vol.1* (pp. 902–903). U.S.A. : SAGE, U.S.A.
- Corentin, P. (2011). Dans une histoire, on dit ce qu'on veut ! In E. Blanquet, E. Picholle (Eds.), *Science et fictions à l'école : un outil transdisciplinaire pour l'investigation ?* (pp. 199–202), Actes des premières journées Science-Fiction et Enseignement de l'IUFM de Nice. Nice : Somnium.
- Davenas, E., Beauvais, F., Amara, J., Oberbaum, M., Robinzon, B., Miadonnai, A., Tedeschi, A., Pomeranz, B., Fortner, P., Belon, P., Sainte-Laudy, J., Poitevin, B. & Benveniste, J. (1988). Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE. *Nature*, 333, 816–818.
- Dawkins, R. (2003). *Le Gène égoïste (The Selfish Gene, 1976)*. Paris : Odile Jacob.
- De Lavergne, C. (2007). La Posture du praticien-chercheur : un analyseur de l'évolution de la recherche qualitative. *Recherches Qualitatives*, Hors série n°3, 28–43.
- Eco, U. (1985). Science et science-fiction. In *France XXI^e siècle*, revue *Science-Fiction*, 5, éd. Denoël, 210–221.
- Eco, U. (1989). *Lector in fabula. Le rôle du lecteur ou la coopération interprétative dans les textes narratifs (Lector in fabula, 1979)*. Paris : coll. Biblio essais, Livre de Poche.
- Eco, U. (1993). *De Superman au surhomme (Il superuomo di massa, 1976)*. Paris : Grasset.
- Eco, U. (2011). *Sémiotique et philosophie du langage (Semiotica e filosofia del linguaggio, 1984)*. Paris : coll. Quadrige, P.U.F.
- Eigler, D. M. & Schweizer, E. K. (1990). Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. *Nature*. 344, 524–526.
- Feynman, R. P. (2007). *Vous voulez rire, Monsieur Feynman ! (Surely You're Joking Mister Feynman !, 1985)*. Paris : Odile Jacob.
- Feynman, R. P. (1980). *La Nature de la physique*. Paris : coll. Points Sciences, Seuil.
- Fleischmann, M. & Pons, S. (1989). Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 261, 301–308.
- Forest, F. (1993). Pour qui sonne le glas, ou les impostures de l'art contemporain. *Quaderni*, 21, 119–140.
- Gratzer, W. (2000). Energy Unlimited . In *The Undergrowth of Science* (pp. 111–135). U.S.A. : Oxford Univ. Press.
- Gratzer, W. (2000). The Climate of Fear. In *The Undergrowth of Science* (pp. 177–218). U.S.A. : Oxford Univ. Press.

- Grawitz, M. (1993). Observation, hypothèse, expérimentation. In *Méthodes des sciences sociales* (pp. 340-349, 9^e éd). Paris : Précis Dalloz.
- Grice, H. P. (1975). Logic and Conversation. In P. Cole & J.-L. Morgan (Eds.), *Syntax and Semantics 3 : Speech Acts*. New York : Academic Press.
- Grice, H.P. (1967). *Logic and conversation*, Williams James Lectures, Harvard University.
- Jacobi, D. (1985). Sémiotique du discours de vulgarisation scientifique, *Semen*, 2.
- Klein, G. (1998). Des images de la science à la science-fiction. In *Galaxies*, 11, 157–165.
- Kohn, R. C. (2001). Les Positions enchevêtrées du praticien-qui-devient-chercheur. In M.-P. Mackiewicz (Ed.), *Praticien et chercheur. Parcours dans le champ social* (pp.15–38). Paris : L'Harmattan.
- Langlet, I. (2006). *La Science-fiction. Lecture et poétique d'un genre littéraire*. Paris : Armand Colin.
- Langmuir, I. & Hall, R. N. (1989). Pathological Science. (Colloque au Knolls Research Laboratory, 1953). *Physics Today*, 42(10), 36–48.
- Lazlo, P. (1993). *La Vulgarisation scientifique*. Paris : coll. Que sais-je ? P.U.F.
- Martineau S. (2005). L'Observation en situation : enjeux, possibilités et limites. In *Recherches Qualitatives*, Hors série n°2, 5–18.
- Moeschler, J. (2001). Pragmatique. État de l'art et perspectives. *Marges Linguistiques*. 1, 1–16.
- Mukumurera, J., Lacourse, F. & Couturier, Y. (2006). Des avancées en analyse qualitative : pour une transparence et une systématisation des pratiques. *Recherches Qualitatives*, 26(1), 110–138.
- Patton, M. Q. (1990). *Qualitative Research and Evaluation Methods*. Canada : Sage Publications.
- Perec, G. (1991). Mise en évidence expérimentale d'une organisation tomatotopique chez la soprano (Cantatrix sopranica L.). In *Cantatrix Sopranica L. et autres écrits scientifiques*. Paris : collection Librairie du XX^e siècle, Seuil.
- Picholle, É. (2011). Histoires de transmissions (Préface). In *Trames et Moirés*. Nice : éd. Somnium.
- Picholle, É. (2011). Science et fiction spéculative : les jeux du plausible. In E. Blanquet & É. Picholle (Eds.), *Science et fictions à l'école : un outil transdisciplinaire pour l'investigation ?* (pp. 39–51). Nice : éd. du Somnium.
- Picholle, É. (2012). Penser l'impensable : terra-former une autre planète pour préserver la nôtre ? In *Actes du Colloque De la science-fiction à la réalité* (pp. 37–41), organisé par le Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective, déc. 2012.
- Picholle, É. (2012). Trois fonctions littéraires de la *hard SF* : rupture, transmission et création. In U. Bellagamba, É. Picholle & D. Tron (Eds.), *Imaginaires scientifiques et hard science fiction* (pp. 97–114). Nice : éd. du Somnium.
- Picholle, É. (2013). La Sémantique générale, rêve ou cauchemar ? In Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle (Eds.), *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*. Nice : éd. Somnium.
- Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*. U.S.A. : University of Chicago Press.
- Quéré, Y. (2003). Préface, *Leçons de Marie Curie*. Paris : éd. EDP Sciences.
- Rocard, Y. (1989). *La Science et les sourciers. Baguettes, pendules, biomagnétisme*. Paris : Dunod.
- Rucaud-Droisy, H., Safont-Mottay, C. & Oubrayrie-Roussel, N. (2008). *Psychologie du développement, Enfance et adolescence*. Paris : Dunod.
- Saint-Gelais, R. (2005). *L'Empire du pseudo : modernités de la science-fiction*. Montréal : éd. Nota Bene.
- Salençon, J. (2010). Allocution d'introduction du colloque « Cultiver la science. La formation continue des professeurs enseignant les sciences », Paris, avril 2010.
- Schaeffer, J.-M. (1999). *Pourquoi la fiction*. Paris : Seuil.
- Sokal, A. (1996). Transgressing the Boundaries : Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity. *Social Text*, 46/47, 217–252.
- Sokal, A. & Bricmont, J. (1997). *Impostures intellectuelles*. Paris : Odile Jacob.
- Tron, D. (2013). Do you grok english ? In Y. Bardière, E. Blanquet & É. Picholle (Eds.), *Science-Fiction et didactique des langues : un outil communicationnel, culturel et conceptuel*. Nice : éd. Somnium.
- Wooley, J. & Cox, V. (2007). Development of Beliefs about Storybook Reality. *Developmental Science*. 10(5), 681–693.
- Zola, É (2006). *Le Roman expérimental* (1881). Paris : Garnier-Flammarion.

Remerciements

Cette thèse est née de belles rencontres et, au fil de ses développements, en a suscité beaucoup d'autres, marquantes, significatives sur le plan scientifique et pédagogique. Au terme de ce travail, je souhaite remercier tous ceux sans lesquels elle n'aurait pas vu le jour.

Je dois à *La Main à la Pâte* et aux échanges qu'elle a suscités entre formateurs et chercheurs mes premières interrogations sur la démarche d'investigation. À Nice, elles ont trouvé un terreau favorable pour se développer. C'est, en particulier, à Serge Tricoire et Jean-Pierre Romagnan que je dois mes rencontres avec André Giordan et Éric Picholle. Je remercie Jean-Pierre Romagnan, Nicole Ostrowsky et Olivier Legrand pour leur accueil au département de physique. Édith Saltiel, Gérard Laporte, Jean-Louis Martinand, Wynne Harlen et bien d'autres encore m'ont consacré du temps et aidée à forger mon questionnement ; Norman Lederman a fait de mes premiers pas dans une conférence internationale un moment merveilleux : qu'ils en soient tous remerciés.

Je remercie mes co-directeurs pour leur confiance, leur vigilance et leur soutien dans tous les moments décisifs. Merci à Pierre Couillet d'avoir accepté d'encadrer cette thèse. Merci à Joaquim Dolz pour son regard bienveillant sur mon travail et son talent pour dissoudre les difficultés. Merci à André Giordan pour ses conseils et critiques, ses apports en didactique des sciences, pour sa présence apaisante et pour m'avoir fait découvrir le pilou et ses amis niçois. Merci à Éric Picholle pour ma formation épistémologique, nos échanges innombrables à bâtons rompus, toujours riches d'idées nouvelles et d'améliorations apportées à mon travail, pour son aide dans la construction de mes plans détaillés et ses relectures si attentives et si exigeantes. Son amitié et sa confiance en mes capacités m'ont été précieuses et il sait tout ce que ce travail lui doit. Merci à mes co-directeurs de m'avoir accompagnée et d'avoir accepté que s'épanouisse, parallèlement à ma recherche, ma passion de l'enseignement.

Je remercie de tout cœur mes rapporteurs, Jean-Louis Martinand et Paul-Antoine Miquel pour leurs regards critiques sur mon travail et les pistes qu'ils ont ouvertes. Roger Maynard et Yves Quéré m'ont fait l'immense plaisir d'être membres de mon jury après avoir été tous deux parrains des premiers jardins des sciences que j'ai organisés à Nice.

Je remercie mes relecteurs attentifs, Jean-Luc Gautero, Pascal J. Thomas et Henri Lehalle pour leurs regards croisés sur mon travail.

Cette thèse n'existerait pas sans les étudiants et enseignants en formation continue qui ont accepté de participer à mon étude. Ils sont trop nombreux pour que je puisse les remercier tous, mais ils se reconnaîtront. Merci en particulier à Camille, Lisa, Adrien, Aurélie, Mariska, Émilie et Romain pour l'aide apportée dans les transcriptions. Merci à Laurent, Laure, Valérie, Gisèle, Sabrina, Laurence, Fabienne, Pascale, Sabine, Isabelle, Jean-Luc et Anne de m'avoir ouvert leurs classes pour observer ou interviewer leurs élèves.

Je remercie Mohammed Najmi, Gilbert Castelli, Laure Capron et Anne Daunois ainsi que la Direction des services départementaux de l'Éducation Nationale et les I.E.N. de circonscription d'avoir permis aux jardins des sciences de se

développer et de m'avoir de la sorte offert l'opportunité d'interviewer les jeunes élèves qui y participaient. L'assistance sans faille du personnel administratif et technique du centre Stephen Liégeard a rendu possible la mise en place des tout premiers jardins des sciences et lancé l'opération. Depuis, avec le soutien bienveillant de Philippe Guetti, ils continuent à m'accompagner dans tous mes projets, y compris la soutenance de cette thèse, et je leur en suis très reconnaissante. Je suis également profondément reconnaissante à M. Étienne Rigout pour l'organisation régulière de stages de formation continue et pour la liberté totale qu'il m'a accordée dans leur mise en œuvre ainsi qu'à Xavier Canonne, Jean-Michel Baronne et Gilles Perole, ses conseillers pédagogiques, pour leur soutien amical. Ce travail doit beaucoup aux enseignants de la circonscription du Val-de-Siagne qui m'ont toujours réservé un accueil chaleureux et avec lesquels j'ai eu tant de plaisir à travailler.

Un guide pédagogique, *Sciences à l'école côté jardin*, est né au cours de l'aventure. C'est aux éditions du Somnium et à l'ESPE de Nice que je dois la pérennisation de mes séquences et leur diffusion. La conception graphique astucieuse d'Anouk Arnal a permis d'en faire un outil apprécié des enseignants. Je l'en remercie, ainsi que pour toute l'aide qu'elle m'a apportée dans la mise en forme de ce travail.

Merci aussi à Gérard Klein pour nos discussions sur la notion de subjectivité collective, ainsi qu'à Ugo Bellagamba, Daniel Tron, Simon Bréan et à tous les peyrescans.

Merci enfin à mes parents pour leur soutien inébranlable au cours de toutes ces années, ainsi qu'à Olivier et Annick.

Un parcours de thèse n'est pas, chacun le sait, seulement une expérience scientifique. C'est aussi une formidable expérience de vie, personnelle, avec ses moments d'interrogation, de doute et d'exaltation. Sur le chemin qui mène de l'idée même de la recherche à la rédaction de la thèse, sur le pont qui relie l'aspiration à la concrétisation, il y a beaucoup de rencontres et de regards partagés. Ce long chemin m'a menée à Nice, à Genève, à Peyresq, d'universités en Journées d'études interdisciplinaires ; celles et ceux qui l'ont embelli sont bien trop nombreux pour être tous cités ici. Auteurs, enseignants, chercheurs, artistes, amis très chers, qu'ils sachent tous à quel point ils ont été déterminants.

Construction of a Set of Criteria of Scientificity for Inquiry-based Science Education. A Pragmatic Approach to the Teaching of Physics in Primary School.

Abstract :

The purpose of this thesis is to propose a pragmatic epistemology of school science in primary school. Indeed, some of the difficulties encountered by inquiry-based science education may be attributed to a lack of understanding of the very nature of science. A survey on the perception of science by incumbent teachers and teachers in training confirms that most of them have a relatively vague vision grounded in a form of naive empiricism.

A practical set of criteria of scientificity adapted to the school context is developed through a “bottom-up” approach based on actual classroom practices. Its efficiency at discriminating scientific and non-scientific practices is discussed, as well as the didactical and epistemological implications of its use. It is thus possible to deduce evolutive definitions of a school science that is normative yet subordinated to the “science of scientists”.

Teachers responded positively to this epistemological tool when it was presented to them. Among the different teaching strategies tested in a classroom, the most efficient for the acquisition of criteria of scientificity were those which supplemented the inquiry process with an explicit epistemological component.

Some elements of scientific method can be introduced as early as kindergarten (5-6 y.o.) : after experimenting with inquiry processes, pupils have proved able not only to claim the primacy of experiment but also to run tests related to different criteria of scientificity and acquire the basics of scientific modeling.

Keywords : Didactics of Physics - School Science - Inquiry-Based Science Education - Primary School - Nature of Science - Criterium of Scientificity - Kindergarten - Bottom-up approach - Philosophy of Science - Collective Subjectivity - Scientific Method - Analogical Models - Views of Science - Physics Teaching

**La Construction de critères de scientificité pour la démarche d'investigation.
Une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école primaire.**

Résumé :

Le mémoire vise à proposer une épistémologie pragmatique de la science scolaire à l'école primaire. Un défaut de compréhension de la nature de la science pourrait en effet justifier en partie les difficultés de l'enseignement des sciences par démarche d'investigation. Une étude des représentations de la science chez les enseignants et futurs enseignants confirme qu'ils n'en ont pour la plupart qu'une vision assez floue, relevant majoritairement d'une forme d'empirisme naïf.

Un jeu opératoire de critères de scientificité adapté au contexte de l'école est développé dans une approche "*bottom-up*" partant des pratiques de classe effectives. Sa capacité à discriminer pratiques scientifiques et non scientifiques est discutée, de même que les implications didactiques et épistémologiques de son utilisation. Il est en particulier possible d'en déduire des définitions évolutives d'une science scolaire normative mais subsidiaire par rapport à la "science des scientifiques".

Cet outil épistémologique s'avère bien reçu par les enseignants auxquels il a été présenté. Le test en situation de différentes stratégies pédagogiques fait apparaître que les plus efficaces pour l'appropriation de critères de scientificité ajoutent à la démarche d'investigation une composante épistémologique explicite.

Certains éléments de méthode scientifique peuvent être travaillés dès la Grande Section de maternelle (5-6 ans) : des élèves ayant vécu des démarches d'investigation s'avèrent capables de revendiquer la primauté de l'expérience, mais aussi de mettre en œuvre des tests relatifs à plusieurs critères de scientificité et de s'approprier les rudiments de la modélisation scientifique.

Mots-clés : Didactique de la physique – Science scolaire - Démarche d'investigation - École primaire - Nature de la science - Critère de scientificité - École maternelle - Approche "*bottom-up*" - Épistémologie - Subjectivité collective – Méthode scientifique – Modèles analogiques – Représentations de la science – Enseignement de la physique – Découverte du monde

