UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Archive ouverte UNIGE
https://archive-ouverte.unige.ch

Thèse 2012

Open Access

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

# Conception et analyse de dispositifs d'investigation en biologie : comment conjuguer autonomie dans la validation scientifique, approfondissement conceptuel dans le paradigme et couverture curriculaire ?

Lombard, François

**How to cite**

LOMBARD, François. Conception et analyse de dispositifs d'investigation en biologie : comment conjuguer autonomie dans la validation scientifique, approfondissement conceptuel dans le paradigme et couverture curriculaire ? Doctoral Thesis, 2012. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:24656

This publication URL: https://archive-ouverte.unige.ch/unige:24656
Publication DOI: 10.13097/archive-ouverte/unige:24656

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.

UNIVERSITÉ
DE GENÈVE
FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Section des Sciences de l'Education

Sous la codirection du Dr Daniel Schneider et de Mireille Betrancourt, professeure

# Conception et analyse de dispositifs d'investigation en biologie : comment conjuguer autonomie dans la validation scientifique, approfondissement conceptuel dans le paradigme et couverture curriculaire ?

## THESE

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

François Edmond LOMBARD

de

Genève

Thèse No 521

GENEVE

Décembre 2012

N° Etudiant 2070067051

UNIVERSITÉ
DE GENÈVE
FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

# Doctorat en sciences de l'éducation

Thèse de François LOMBARD

Intitulée : «Conception et analyse de dispositifs d'investigation en biologie : comment conjuguer autonomie dans la validation scientifique, approfondissement conceptuels dans le paradigme et couverture curriculaire ? »

*

La Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, sur préavis d'une commission formée par les professeurs : Daniel Schneider, co-directeur, FPSE, Université de Genève, Mireille Bétrancourt, co-directrice, FPSE, Université de Genève, André Giordan, FPSE, Université de Genève, Bruno Strasser, Faculté des Sciences, Université de Genève

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

GENEVE, le 5 décembre 2012

Le doyen :

Pascal Zesiger

P. Zesiger

Thèse No 521
Numéro d'immatriculation : 76.301.050

**Uni Mail**
40 bd du Pont-d'Arve - CH-1211 Genève 4
Tél. 022 379 90 01 - Fax 022 379 90 20
www.unige.ch/fapse
Doyen-FPSE@pse.unige.ch

# Table des matières

**1 Introduction ..... 1**

**2 La biologie évolue, quelles conséquences pour l'éducation ? ..... 4**

2.1.1 Une première définition de la biologie ..... 4
2.1.2 Quelques éléments d'histoire de la biologie : du naturaliste aux génomes, trois étapes 4
2.1.3 Première étape : la biologie du naturaliste ..... 4
2.1.4 Deuxième étape : la biologie expérimentale ..... 5
2.1.5 Troisième étape : d'une biologie de la forme à une biologie de l'information ..... 5
2.1.6 Une biologie qui change dans tous les domaines ..... 9
2.1.7 Identifier les transpositions de la biologie actuelle à reconsidérer : quatre problématiques pour l'éducation ..... 12
2.1.8 Quatre problématiques de transposition de la biologie informationnelle ..... 15
2.1.9 Problématique 1 : transposition de la bioinformatique classique : 'omics. ..... 15
2.1.10 Problématique 2 : transposition du traitement des autres données biologiques ..... 16
2.1.11 Problématique 3 : Transposition des simulations, biologie synthétique et des systèmes ..... 16
2.1.12 Problématique 4 : Transposition de l'intelligence informationnelle et construction de connaissances dans des environnements infodenses. ..... 18
2.1.13 Centrage sur la Problématique 4 ..... 21
2.1.14 L'authenticité à la lumière de la transposition didactique ..... 23
2.1.15 La surabondance d'information : un problème pour l'école ou une opportunité d'affronter la complexité du monde ? ..... 25
2.1.16 Ontologies des savoirs en biologie ..... 26
2.1.17 Une saupoudrée de sociologie des sciences : changement de paradigme ? ..... 29

**3 Une définition pédagogique de la connaissance scientifique ? ..... 33**

3.1.1 Distinguer les connaissances et les savoirs ..... 33
3.1.2 Comment caractérisons-nous la connaissance scientifique ? ..... 35
3.1.3 La connaissance se construit dans un cadre épistémique ..... 35
3.1.4 La science s'articule autour de la modélisation ..... 38
3.1.5 Les connaissances et la conception de l'esprit ..... 40
3.1.6 Les connaissances préalables peuvent être un obstacle ..... 42
3.1.7 La connaissance scientifique se construit dans le débat ? ..... 44

**4 Enseigner la pratique de la science ? ..... 51**

**4.1 La perpendicularité des savoirs : comment articuler savoirs disciplinaires, savoirs enseignants et de recherche en éducation ? ..... 51**

4.1.1 Un exemple en biologie : l'alignement des insulines de vertébrés et la formation d'un arbre phylogénétique ..... 54
4.1.2 Les savoir dans la dimension Biologie ..... 56
4.1.3 Les savoir dans la dimension recherche en éducation ..... 56
4.1.4 Le plan des savoirs enseignants ..... 58
4.1.5 Le problème de la perpendicularité ..... 59
4.1.6 L'épaisseur de la tranche permet les interactions ..... 59

**4.2 Comment développer la connaissance scientifique dans des environnements infodenses ..... 60**

4.2.1 La connaissance scientifique, notoirement difficile à développer chez les élèves ..... 60
4.2.2 L'erreur, une faute ou une connaissance à transformer ? ..... 62
4.2.3 L'effet Topaze ..... 64
4.2.4 La question comme principe organisateur en science et en pédagogie ..... 66
4.2.5 La question prend du sens dans une production ..... 71
4.2.6 L'élève construit des connaissances à partir de ressources surabondantes ? ..... 72

4.2.7 *Knowledge Building:* une pédagogie congruente avec la science ... 75
4.2.8 L'institutionnalisation ... 77
**4.3 Review des designs pédagogiques pour la construction de connaissances scientifiques et justification du choix de l'investigation IBL ... 78**
4.3.1 Définir modèle et design pédagogique ... 78
4.3.2 Quelques réflexions issues d'une première revue des designs pour l'enseignement des sciences ... 83
4.3.3 L'authenticité : une revendication implicite dans la plupart des modèles d'enseignement de la biologie ... 86
4.3.4 Trois plans pour la recherche d'authenticité ... 88
4.3.5 Aider à affronter la complexité ou simplifier pour en protéger les élèves ? ... 90
4.3.6 Quelques modèles pédagogiques courants ... 92
4.3.7 L'investigation, un modèle pour la construction de connaissances scientifiques ? ... 96
4.3.8 Quel rapport à l'autorité ? ... 101
4.3.9 Les formes et les effets pédagogiques de l'évaluation ... 105
4.3.10 Les formes et l'effacement de l'étayage ... 107
4.3.11 Une production concrète supporte la construction des questions et des connaissances ... 108
4.3.12 L'argumentation : la science est débat ... 111
4.3.13 La métacognition incontournable ... 113
4.3.14 Notre définition de l'IBL ... 114
**4.4 Les modèles pédagogiques pour la construction de connaissances supportés par les technologies ... 117**
4.4.1 Les technologies pour modifier le milieu de l'élève ... 118
4.4.2 Rôle de l'artefact conceptuel ... 118
4.4.3 Le tétraèdre des Technologies ... 119
4.4.4 Des technologies pour l'enseignement des sciences ? ... 120
4.4.5 Une scénarisation majoritairement dans l'artefact technologique ou dans le dispositif : artefact générique ou spécialisé ? ... 122
4.4.6 Writing to learn: écrire pour apprendre. ... 123
4.4.7 Un espace d'écriture partagé comme soutien à la construction de connaissances ... 125
4.4.8 Les wikis ... 126
4.4.9 Comment prendre en compte les difficultés induites par la médiation ? ... 128
4.4.10 La territorialité du texte. ... 129
4.4.11 Une exposition accrue de l'activité enseignante ... 129
4.4.12 Une visibilité du travail des élèves accrue ... 132
4.4.13 Le rôle de l'artefact technologique dans la construction des questions ... 133
4.4.14 Le rôle des technologies dans le suivi de la progression ... 134
4.4.15 Le rôle des technologies dans l'accès aux ressources ... 135
4.4.16 Les ressources électroniques ... 136
**5 Construction des questions de recherche et méthodologies ... 138**
**5.1 Objectif de la Thèse ... 138**
**5.2 Approche générale : *Design-Based Research* (DBR) un paradigme de recherche, un choix éthique ... 139**
**5.3 Question de recherche Q0 : Quelle conceptualisation du dispositif en permet une analyse pertinente ? ... 143**
5.3.1 Méthodologies pour la question Q0 ... 144
5.3.2 Relations entre les concepts ... 145
5.3.3 L'articulation des questions et des ressources dans la construction de connaissances 147
5.3.4 Une carte des conjectures qui conduisent à l'apprentissage scientifique ... 149
5.3.5 Liste des conjectures et éléments de design ... 151

**5.4 Question de recherche Q1 : Comment réaliser un dispositif d'investigation à l'année assez efficace pour que les élèves d'année terminale y acquièrent des connaissances pertinentes aux yeux de l'institution ? ..... 154**
5.4.1 Méthodologies pour la question Q1B ..... 155
5.4.2 Méthodes d'analyse de l'adéquation des savoirs produits au curriculum et au paradigme ..... 157
**5.5 Question de recherche Q2 : Comment structurer et maintenir un contrat didactique pour l'investigation scientifique de type IBL ? ..... 157**
5.5.1 Méthodologies pour la question Q2 ..... 160
5.5.2 Les données : population, contexte curriculaire, corpus d'enregistrement wiki, questionnaires, journaux d'observations ..... 161
5.5.3 Temporalité des analyses ..... 164
5.5.4 Choix de la sélection de documents étudiés ..... 165
5.5.5 Méthodes de comptage des mots et des questions ..... 166
5.5.6 Méthodes d'analyse du suivi des questions ..... 166
5.5.7 Méthodes d'analyse de la complexité épistémique ..... 167
5.5.8 Méthodes d'administration, dépouillement et analyse des questionnaires ..... 169
5.5.9 Méthodes d'analyse des autres sources : journal de suivi des observateurs, autres sources ..... 173

**6 Résultats Q1 : Description et validation du dispositif ..... 176**
**6.1 Résultats Q1A : Description du dispositif ..... 177**
6.1.1 Les grandes lignes du dispositif ..... 177
6.1.2 Schéma des activités constituant l'IBL ..... 178
6.1.3 Articulation des activités dans le dispositif ..... 179
6.1.4 Activité I : Susciter des questions les enregistrer, les organiser ..... 185
6.1.5 Conditions de transition à l'activité suivante I ->II ..... 188
6.1.6 Activité II Recherche de réponses ..... 188
6.1.7 Conditions de transition à l'activité suivante II -> III ..... 197
6.1.8 Activité III : Echéance, consolidation, évaluation ..... 198
6.1.9 Activité IIIb particulière de test du contrat didactique : ..... 201
6.1.10 Activité IV : Présentation aux pairs et redéfinition des questions ..... 202
6.1.11 Conditions de transition à l'activité suivante ..... 206
6.1.12 Activité V : Institutionnalisation et évaluation de l'investigation ..... 206
6.1.13 Evolutions multi annuelle du dispositif ..... 207
**6.2 Résultats : Q1B Dans quelle mesure les connaissances acquises dans le dispositif étudié sont-elles adéquates dans l'institution scolaire ? Dans quelle mesure sont – elles scientifiques ? ..... 211**
6.2.1 Extraire des savoirs pertinents de ressources surabondantes ..... 211
6.2.2 Des stratégies de recherche plutôt que l'apprentissage exhaustif de documents prescrits ? ..... 213
6.2.3 Ecrire et présenter produit-il des connaissances ? ..... 214
6.2.4 Résultats : les savoirs produits sont-ils conformes aux exigences scolaires ? ..... 218

**7 Résultats de la question de recherche Q2 ..... 224**
**7.1 Résultats : Q2A Comment conduire les élèves à se focaliser sur l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ? ..... 224**
7.1.1 Dans quelle mesure le dispositif développe-t-il un but d'amélioration des connaissances partagé par les élèves ? ..... 225
7.1.2 Résultats : Dans quelle mesure les connaissances sont-elles le résultat de confrontations ? ..... 229
7.1.3 La nature des interventions dans le texte par les élèves révèle-t-elle des confrontations socio-cognitives ? ..... 231
7.1.4 La co-écriture supporte-t-elle des confrontations d'idées ? ..... 233
7.1.5 Quel est l'effet des variables d'attitudes sur l'apprentissage scientifique ? ..... 235

7.1.6 Éléments de design pour la transparence, la confiance....237
7.1.7 Comment manifester l'autorité pédagogique de l'enseignant dans le guidage sans escamoter l'autorité scientifique des ressources ?....241
7.1.8 Synthèse des résultats à la question Q2A....244
**7.2 Résultats : Q2B Comment assurer le contrôle de l'investigation tout en respectant l'autonomie des élèves ?....245**
7.2.1 Développement de l'ampleur des textes et implication des élèves....247
7.2.2 Développement du nombre de questions....249
7.2.3 Elaboration des questions et des réponses....252
7.2.4 Qualité et adéquation des savoirs produits....260
7.2.5 Analyse de l'évolution du type de questions....262
7.2.6 Complexité épistémique des réponses produites par les élèves....263
7.2.7 Effets de la règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses....270
7.2.8 Synthèse pour la question Q2B....273
**7.3 Résultats : Q2C Comment l'autonomie dans la validation des connaissances scientifiques est-elle développée ?....276**
7.3.1 Résultats sur l'autonomie dans la validation....277
7.3.2 Résultats sur la perception de la science comme méthode de validation....279
7.3.3 Dévolution du choix des questions et délimitation épistémique de la discipline ?....281
7.3.4 Effet des présentations intermédiaires....284
7.3.5 Sentiment d'autonomie....286
7.3.6 Indices de la science comme méthode de validation....288
7.3.7 Validation par la confrontation avec les autres....289
7.3.8 Synthèse des résultats à la question Q2C....292
**7.4 Résultats : Q2D Quelles interventions de l'enseignant soutiennent et incitent à assumer les rôles permettant l'apprentissage dans les phases successives de l'investigation ?....294**
7.4.1 L'investigation montre des phases en réponse aux transitions d'activité....296
7.4.2 Rôle de l'enseignant dans l'évolution des questions....298
7.4.3 Synthèse des résultats à la question Q2D....303
**7.5 Résultats Q2E : Comment les ressources sont-elles utilisées pour développer l'approfondissement conceptuel ?....304**
7.5.1 Les élèves développent-ils des stratégies de sélection de ressources ?....304
7.5.2 La citation des sources révèle-t-elle une épaisseur métacognitive ?....307
7.5.3 Synthèse des résultats à la question Q2E....310
**7.6 Rôle de l'*artefact conceptuel* supportant l'investigation....311**
**7.7 Synthèse des résultats à la question Q2....312**

**8 Conclusion....315**
**8.1 Introduction à la conclusion....315**
**8.2 Résumé synthétique des résultats globaux....315**
**8.3 Abstraction du design IBL....316**
8.3.1 Conclusion pour la question Q1 : Comment réaliser un dispositif d'investigation à l'année assez efficace pour que les élèves d'année terminale y acquièrent des connaissances pertinentes aux yeux de l'institution ?....316
8.3.2 Conclusion pour la question Q2 *Comment structurer et maintenir un contrat didactique pour l'investigation scientifique de type IBL ?*....317
8.3.3 Justification des Recommandations de Design d'Attitude (RDA) fondamentales....320
8.3.4 Vers quelle connaissance scientifique conduit l'IBL ?....323
**8.4 Comment l'autorité pédagogique peut piloter vers la connaissance scientifique : synthèse de recommandations concernant l'action de l'enseignant....324**
8.4.1 Piloter l'IBL : synthèse en trois Recommandations de Design (RD) radiales....325
8.4.2 Quelques recommandations de design suggérant comment articuler le guidage et l'approfondissement à la dévolution....327

8.4.3 Les autres recommandations qui complètent la structure du design abstrait.....329
8.4.4 Transformation du rôle de l'enseignant.....332
**8.5 Les apports notables, les limites, les perspectives.....336**
8.5.1 Les limites et portée de ces conclusions.....338
8.5.2 Perspectives de la recherche.....341
**8.6.....343**
**8.6 Postface.....343**

**9 Références bibliographiques.....344**

**10 Annexes.....365**
**10.1 Annexe : Questionnaire de fin d'année proposé aux élèves en 2006.....365**
**10.2 Annexe : Critères d'évaluation des pages.....367**
**10.3 Annexe : Rapport de l'expert sur l'adéquation aux plans d'étude et la qualité des productions d'élèves.....368**
10.3.1 Fin d'année 2006.....368
10.3.2 Fin d'année 2007.....369
10.3.3 Fin d'année 2009.....370
10.3.4 Fin d'année 2010.....370
10.3.5 Début d'année 2008.....371
**10.4 Annexe : Canevas structurant les documents wiki.....373**
**10.5 Annexe : Liste des pages produites au cours des années.....374**
10.5.1 Année 2002 : 26 documents d'investigation.....374
10.5.2 Année 2004 : 50 documents d'investigation.....374
10.5.3 Années 2005 : 10 documents d'investigation.....375
10.5.4 Année 2006 : 39 documents d'investigation.....375
10.5.5 Année 2007 : 40 documents d'investigation.....376
10.5.6 Année 2008 : 37 documents d'investigation.....376
10.5.7 Année 2009 : 26 documents d'investigation.....376
10.5.8 Année 2010 : 29 documents d'investigation.....377
**10.6 Annexe : Questionnaire proposé aux élèves en fin d'année.....378**
**10.7 Annexe : Exemples de questionnaire post-secondaire.....381**
**10.8 Annexe : Exemple de répertoire thématique.....383**
10.8.1 Immunologie.....383
**10.9 Annexe : Liste des conjectures (CJ) et éléments de design (ED).....385**
**10.10 Annexe : Liste des recommandations de design proposées (RD).....388**
**10.11 Annexe : Report des figures en pleine page.....390**

# Préface

Nos remerciements vont d'abord au directeur de thèse pour son engagement dans la durée de ce projet, la franchise de ses commentaires, sa tolérance et son ouverture envers un projet peu conventionnel et qui a mis du temps à se construire. Notre gratitude va tout autant à la codirectrice pour le climat stimulant et encourageant de TECFA, ses feedback très précis et le soutien dans la durée. Nos remerciements vont ensuite au professeur A. Giordan, pour la confiance accordée aux premières recherches de ce projet et aux opportunités de les présenter et de les publier, au professeur D. Duboule, membre de la commission d'origine, qui a accordé à ce projet de belles heures de discussion sur la biologie actuelle et son évolution et son enseignement, au professeur B. J. Strasser, pour des discussions critiques à propos de certains chapitres notamment l'histoire et l'épistémologie de la biologie. Ils vont aussi au professeur A. Mueller pour ses encouragements et des échanges d'idées notamment sur l'authenticité, la vérité en science, à Céline Buchs (MER) pour des discussions très fécondes dans l'élaboration du dispositif qu'elle est venue observer, notamment pour nous avoir fait découvrir la recherche sur l'apprentissage coopératif et pour des commentaires très précieux et ciblés de nos résultats et analyses. Nous voulons aussi remercier l'expert PhD Pierre Brawand pour son rapport qui établit un point crucial pour cette thèse et au PhD Rémy Kopp qui a partagé à l'IUFE nos réflexions sur la didactique, la formation et l'enseignement de la biologie. Notre gratitude va aussi aux observateurs, tout particulièrement à Elodie Sierra dont la curiosité sur le CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*) à contribué à initier les premières implémentations du design, au MD Lionel Regad qui a choisi de prolonger son observation d'une classe presque toute l'année, à A. Guardiola qui a observé avec acuité le dispositif durant plusieurs semaines, aux relectrices (B. Haenggeli-Jenni, M. Gremion notamment) qui ont éliminé d'innombrables coquilles. Un remerciement tout particulier aux élèves des classes de 2OS, 2DF, 3OS, 4 OS de 2002 à 2012 au Collège Calvin qui ont contribué au développement de ces dispositifs et accepté de répondre aux questionnaires durant et après cet enseignement.

Ce projet a été réalisé avec un soutien durant 3 ans au début du projet par Recherche et Développement du Post-Obligatoire au DIP, et durant un semestre par l'IUFE.

Notre parcours professionnel commence à 18 ans avec le développement d'une simulation d'apprentissage par l'ordinateur qui a été primé ensuite au concours « La Science Appelle les Jeunes » (F. Lombard, 1975). Ce parcours continue par une recherche en biologie sur la régulation de la photosynthèse (F. Lombard, 1980; F. Lombard & Strasser, 1983) avec le professeur Reto Strasser, passe par un investissement enthousiaste dans l'enseignement, fait un crochet par le développement de logiciels éducatifs – notamment Neurodule qui a été utilisé pendant une bonne vingtaine d'années dans les écoles secondaires du canton et ailleurs (F. Lombard, 1992, 1996). Nous avons ensuite construit de nombreuses formations continues des maîtres à l'usage des technologies pour l'enseignement durant de nombreuses années au CPTIC (Centre Pédagogique des Technologies de l'Information et de la Communication devenu SEM Service Ecoles et Medias) et avons organisé les premières activités internet au DIP : Projet EWSTC 1995 au CERN, et le premier *Club Internet* destiné aux enseignants. Appelé à l'université pour la coordination d'un module d'intégration des technologies dans la licence mention enseignement, nous avons été conduit à explorer – à TECFA principalement puis au LDES et à l'IUFE – la convergence de l'intégration des Technologies pour l'apprentissage, des profonds changements que les bases de données induisent dans la recherche en biologie – et ceux qui seraient souhaitables dans l'enseignement – avec

SwissProt (devenu UniProtKB et intégrée au SIB depuis). D'autre part, dans la formation continue des maîtres du secondaire et une pratique enseignante au collège Calvin, nous avons ressenti de manière croissante le besoin de mettre en phase l'enseignement avec l'évolution de la biologie, et les besoins des élèves pour les préparer comme citoyens responsables.

Le projet a commencé comme innovation dans l'enseignement de la biologie au secondaire en 2002 avec les premières implémentations de dispositifs se réclamant de CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*). Il s'est progressivement redéfini pour s'inscrire sur le plan pédagogique dans des modèles d'apprentissage par investigation, et devenir une recherche en thèse. La perspective initiale – dans le plan enseignant – de développement de dispositifs d'enseignement a constitué une base solide de données. Il a fallu développer une posture de chercheur et construire un cadre théorique pour conduire l'analyse rigoureuse de données sélectionnées à partir d'un corpus de presque dix ans. Le souci d'intégrer les postures de chercheur et d'enseignant marque ce projet dans son élaboration comme ses conclusions… et en détermine probablement les forces et les faiblesses.

Cette recherche a été autorisée selon les procédures du DIP et de l'Université de Genève, elle a passé devant la commission d'éthique de la FAPSE et a obtenu le consentement éclairé des élèves (qui sont majeurs).

Chaque année, les questionnaires ont été analysés et mis à disposition des élèves avec une synthèse par le [1] et les élèves ont reçu un mail le leur indiquant.

*Remarques pour le lecteur* :

Dans l'ensemble du texte l'usage du masculin est épicène.

Le référencement est essentiellement basé sur les normes APA 6, avec quelques nuances induites par les limites du logiciel EndNote. Les citations en anglais ont été entourées de guillemets anglais et formatées en italique.

L'usage du terme *enseignant* a été préféré à celui de *maître* sauf lorsque – justement – nous avons voulu faire référence à une posture magistrale qui détient le savoir et le diffuse en laissant peu d'autonomie aux élèves.

Les *conjectures* (abrégées CJ1 à n) et les *éléments de design* (abrégées ED1 à n) ainsi que les *recommandations de design* (RD1 à n) sont reportées dans le texte *in extenso*, mais typographiquement distinctes (italique).

Les figures dont la lisibilité pourrait être difficile dans le texte sont reproduites en pleine page dans la section 10.11 Annexe : Report des figures en pleine page (p. 390)

---

[1] Bilan de l'année 2009-10 : http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin10
Bilan de l'année 2008-9 : http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin09
Bilan de l'année 2007-8 : http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin08
Bilan de l'année 2006-7 : http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin07
Bilan de l'année 2005-6 : http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin06
Bilan de l'année 2003-4 : http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/BilanEcologie4OS
Feed-back d'ex élèves un an après à l'uni /EPFL / HEC :
http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/FeedBackIblExEleves

# 1 Introduction

Alors que la transformation des médias et des modes de communication bousculent la société (Bindé, 2005), que la biologie est transformée en profondeur par les technologies de traitement de l'information – manifestées notamment par l'avènement de la génomique (Butler, 2001; Strasser, 2006a), l'enseignement des sciences ne change guère (Giordan & Saltet, 2010; Rocard et al., 2006), les résultats aux enquêtes internationales sont peu satisfaisants à Genève (OECD, 2003) et on peut douter que les élèves soient vraiment préparés à « 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. » (CIIP, 2011, pp. commentaires généraux, page web). En plus de leur donner des connaissances en sciences, il s'agit d'aider les élèves à devenir des citoyens capables de construire des opinions fondées et de faire des choix responsables dans une société dite de la connaissance.

> L'opinion n'est pas de même nature que le savoir. La question essentielle n'est alors plus de trancher entre points de vue exprimés pour savoir qui a raison et qui a tort. C'est d'accéder aux raisons profondes qui justifient les points de vue en présence. (Astolfi, 2005 p. 78)

D'autre part, plusieurs courants de recherche sur l'intégration des technologies dans l'éducation (Bereiter, 2002; M. Betrancourt, 1999; Sandoval, 2004; Scardamalia & Bereiter, 1996; Daniel Schneider et al., 2003) suggèrent l'existence d'un potentiel considérable pour étayer l'apprentissage des connaissances approfondies avec des dispositifs technopédagogiques.

Au cœur de ce projet, nous trouvons un objectif pédagogique « Comment aider les élèves à développer des connaissances scientifiques approfondies dans une société « de la connaissance », où se faire une place nécessite l'autonomie dans le jugement, la sélection et la synthèse dans une surabondance d'informations de qualité très hétérogène ? »

Nous développerons une définition de la connaissance scientifique basée sur ses modes de validation spécifiques ; aussi le développement des capacités à valider leurs propres connaissances scientifiques chez les élèves prendra une place cruciale dans cette recherche.

Dans la mesure où les connaissances des élèves ne résultent pas simplement d'un transfert des savoirs présentés, et où les connaissances scientifiques sont caractérisées par un mode de particulier validation, il y a une convergence entre le souci de développer la validation scientifique et le souci citoyen de rendre l'élève capable de se construire une opinion dans des environnements infodenses, de faire face à l'*infobésité* comme disent joliment les Québécois. Effectivement, les problématiques d'intégration des technologies, du développement de connaissances scientifiques et de compétences d'intelligence informationnelle convergent. Elles contrastent avec un enseignement dans un cadre délimité et avec des documents soigneusement prescrits. Le jugement nécessaire pour évaluer, synthétiser et construire ses connaissances à partir d'une avalanche d'information contraste avec un enseignement où les savoirs sont validés par l'autorité du maître, les synthèses proposées et la critique rarement exercée voire réprimandée. Comment s'étonner que les élèves connaissent, au mieux, les *conclusions* de la science, mais ne sachent pas *faire* de la science (Kuhn, 1972), si les élèves n'ont presque pas d'occasions de construire une argumentation scientifique (Giordan, 1978) ni de se confronter aux savoirs authentiques que produit la recherche. Avec des chercheurs comme Jonassen (Jonassen, 2003), nous pensons que le « péché » le plus grave qu'un enseignant puisse commettre est de simplifier la plupart des idées enseignées aux élèves afin de faciliter leur transmission. Une trop grande simplification déconnecte les savoirs de leur contexte, leur ôtant une grande part de leur sens, et encourage l'illusion confortable que le monde serait simple et cohérent. L'autonomie et la validation de ses connaissances par argumentation se heurtent au paradoxe de l'éducation

(Meirieu, 1993b) : rendre autonome est une injonction paradoxale puisque l'enseignant enjoint l'élève à ne pas croire mais vérifier, à ne pas accepter les savoirs simplement par argument d'autorité d'un maître qui en sait pourtant plus que lui. Une connaissance ne peut être scientifique si elle est validée par l'argument d'autorité (Giordan, 1978), l'autonomie dans la validation que requiert la connaissance scientifique se heurte à l'ignorance initiale des élèves, à l'effort qu'exigent les remises en question conceptuelles et aux traditions scolaires d'autorité magistrale.

Ainsi le projet s'attaque à la tension fondamentale entre, d'une part, le transfert de responsabilité sur la production de connaissances nécessaire à l'investigation mais aussi à la connaissance scientifique, et d'autre part, les exigences scolaires de couverture curriculaire et d'approfondissement conceptuel.

Nous pensons avoir fait le deuil d'une forme de militance – typique des enseignants (Huberman, 1986) – qui chercherait à changer l'institution, convaincre les enseignants de la pertinence d'une approche ou d'un modèle pédagogique. Nous voulons baser cette recherche sur le développement de designs fondés par des théories, éprouvés en classe dans la durée, analysés rigoureusement et produisant des recommandations de design pour développer l'apprentissage de connaissances approfondies en biologie.

La thèse se construit donc autour de trois phases dont les racines plongent plus de dix ans en arrière. Nous avons dû d'abord développer un dispositif d'enseignement permettant d'explorer ces questions. En cherchant à affronter cette tension difficile, le dispositif a progressivement pris une forme assez radicale et *engagée* (au sens montagnard qu'une fois *engagé* il n'est plus possible de faire demi-tour) dans le secondaire II. Ce dispositif a été mis en œuvre et optimisé durant plusieurs années entières et a été validé dans le contexte scolaire.

Sur cette base, la thèse vise à conceptualiser un dispositif technopédagogique d'enseignement de la biologie par investigation (de type IBL : *inquiry-based-learning* que nous définirons plus loin). Cette conceptualisation permettra de construire des outils d'analyse pour produire une description formelle du design. L'analyse s'articulera notamment sur des formes d'hypothèses liant des effets éducatifs attendus à des interventions et des variables de design que nous nommerons conjectures (CJ) incarnées dans le dispositif (traduction de *embbeded conjectures,* (Sandoval, 2004)). Cette conceptualisation permettra la description du dispositif en termes d'éléments de design (ED) et d'en discuter les effets observés et mesurés.

La thèse se propose ensuite d'analyser les traces informatiques et les données issues des questionnaires et des observateurs du dispositif pour corroborer ces conjectures et tirer de cette analyse des recommandations un ensemble de recommandations de design (RD) structurées et articulées avec les fondements théoriques et les effets éducatifs prévisibles. Ces recommandations auront le statut d'hypothèses fondées et structurent un design abstrait qui pourront guider la conception d'autres designs favorisant la construction de connaissances scientifiques – au sens défini plus haut – en biologie dans des environnements infodenses.

La nature exploratoire de ce projet, son positionnement entre plusieurs champs de recherche et la méthodologie itérative impliquent que la construction des questions de recherche est un processus qui ne porte ses fruits finaux que tardivement : c'est notre question de recherche Q0, l'identification des variables à étudier est justement un des résultats. L'imbrication des résultats avec le cadre conceptuel dans le design est une caractéristique d'un tel projet *design-based.*

Question de recherche Q1 : *Comment réaliser un dispositif d'investigation à l'année assez efficace pour que les élèves d'année terminale y acquièrent des connaissances pertinentes aux yeux de l'institution ?*

Question de recherche Q2 : *Comment conduire les élèves à se focaliser sur l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ?*

Depuis quelques années s'est développée une approche de recherche en éducation – une méthodologie plutôt – qui vise à améliorer l'enseignement en affrontant la complexité des situations en classe, authentiques et complexes avec un très grand nombre de variables tout en contribuant à la théorie : le *Design Based Research* (Design Based Research Collective, 2003; Sandoval & Bell, 2004; Scardamalia & Bereiter, 2006). Elle satisfait un souci éthique d'offrir aux élèves le meilleur enseignement possible durant la durée de la recherche – plusieurs années – et nous a paru pertinente pour une recherche exploratoire et intégrant de nombreux champs de recherche. En d'autres termes, les objectifs de la recherche ne devaient pas péjorer ceux de l'enseignement.

Il ne s'agit pas – répétons-le – de tester ou démontrer l'efficacité absolue ou comparée d'un dispositif particulier, ni de tenter la comparaison d'un *design du siècle* à des pratiques de référence – mais quelle référence ? Il s'agit de décrire un dispositif, de valider une efficacité au moins satisfaisante dans son contexte institutionnel, pour examiner l'effet sur l'apprentissage de connaissances scientifiques des éléments de design (ED) et des conjectures (CJ).

Les *conjectures* (abrégées CJ1 à n) et les *éléments de design* (abrégées ED1 à n) seront présentées au cours du cadrage théorique au fur et à mesure qu'ils sont construits dans leur formulation finale, même lorsque leur justification n'est pas encore complète. Nous les avons fait figurer en italique. Elles sont présentées comme résultat à la question de recherche Q0 mais regroupées à la fin 10.9 Annexe : Liste des conjectures (CJ) et éléments de design (ED) p. 385 et 10.10 Annexe : Liste des recommandations de design proposées (RD) p. 388

*Petit guide de lecture :*

La structure de la thèse s'articule en 7 chapitres après cette introduction. Nous allons d'abord évoquer la nature des changements en biologie en la situant brièvement dans son contexte historique. Nous identifierons quatre problématiques de transposition de cette biologie nouvelle à l'enseignement, puis sélectionnerons celle qui est au cœur de notre recherche, ce sera le chapitre 2 La biologie évolue, p. 4. Nous tenterons ensuite de construire une définition pédagogique de concepts fondamentaux pour guider cette recherche en distinguant connaissance, de savoirs, et d'information, cela constituera le chapitre 3 Une définition pédagogique de la connaissance scientifique ? p. 32. Puis nous explorerons les modèles d'apprentissage des sciences trouvés dans la littérature, les discuterons et identifierons les principales conjectures qui fondent le design proposé chapitre 4 : Enseigner la pratique de la science ? p. 49. Ensuite nous élaborerons les questions de recherche et les méthodologies correspondantes, ce sera le chapitre 5 : Construction des questions de recherche et méthodologies p. 136. Nous présenterons et discuterons les résultats de la première question de recherche, en groupant les résultats et leur analyse par sous-question afin de faciliter la lecture du chapitre 6 :

Résultats Q1 : Description et validation du dispositif p. 173. Ensuite nous procéderons de même pour la question de recherche suivante dans le chapitre 7 : Résultats de la question de recherche Q2 p.221. La synthèse des résultats ainsi que les conclusions et leur discussion formeront avec la liste des apports de la thèse et les perspectives le chapitre 8 Conclusion p. 312.

# 2 La biologie évolue, quelles conséquences pour l'éducation ?

Nous commencerons par définir la biologie comme une démarche et un regard particuliers sur le monde. Avec Jean-Pierre Astolfi, nous pensons qu'une discipline d'enseignement « fonctionne comme une grille de lecture alternative du réel, laquelle nécessite une rupture avec la perception immédiate et le sens commun» (Astolfi, 2008 p. 41). On peut aussi la définir par ses concepts, ses pratiques théoriques, ses modes de validation des savoirs, ses outils et ses objets d'étude. Enseigner la biologie, c'est donc développer chez les élèves des outils et des connaissances pour appréhender le monde avec le regard particulier de cette discipline. « Observer ne suffit pas si on ne dispose pas des concepts appropriés. Ce sont eux qui produisent de nouveaux observables. » (Astolfi, 2008 p. 41).

Chaque discipline fournit ainsi un cadre conceptuel propre avec ses outils, ses questions, ses méthodes (Kuhn, 1972) qui donne à celui qui le maîtrise un regard orienté par ce cadre, mais capable de voir plus loin, de fouiller le monde pour éclairer des zones d'ombre et révéler des questions spécifiques.

### 2.1.1 Une première définition de la biologie

Voyons maintenant ce qui caractérise la biologie et particularise le regard qu'elle permet de porter sur le monde. Habituellement rattachés aux science expérimentales, les savoirs (et les connaissances, mais nous ferons cette distinction dans la section 3.1.1 (p. 33)) y sont *in fine* fondés sur l'expérimentation, mais encore souvent sur l'observation et de plus en plus souvent on y construit les savoirs nouveaux par le traitement de l'information. Puisque les savoirs reposent sur les données qui peuvent changer, ils existent dans un environnement d'hypothèses courantes plutôt que de certitudes. La biologie se distingue aussi par « un ensemble de méthodes et de disciplines groupées autour des processus vivants et des interrelations entre les organismes vivants » (Sears & Wood, 2005 p.3 Traduction personnelle).

### 2.1.2 Quelques éléments d'histoire de la biologie : du naturaliste aux génomes, trois étapes

Sans prétendre faire une synthèse historique à proprement parler, nous avons voulu chercher des éléments de compréhension de la biologie actuelle dans ses racines historique et pour cette brève revue orientée par l'éducation, nous nous sommes inspirés principalement de (Morange, 2003), mais aussi d'autres ouvrages sur l'histoire de la biologie (Giordan, 1987), et son histoire récente, notamment celle des bases de données (Strasser, 2003).

On peut distinguer (Morange, 2003) trois grandes phases de l'évolution de la biologie : la biologie est d'abord une science empirique et descriptive basée sur l'observation et la description – démarche qui remonte au moins à Aristote. Une deuxième phase, expérimentale, se développe depuis la deuxième moitié du 19$^{ème}$ siècle avec notamment la biologie moléculaire depuis les années 1940 qui illustre comment l'expérimentation, souvent quantifiée, devient une pratique primordiale qui complète l'observation. La troisième est en cours et caractérisée par l'émergence au cœur de cette biologie de la forme d'une nouvelle biologie de l'information.

### 2.1.3 Première étape : la biologie du naturaliste

Dans une première phase, la biologie est ontologique : elle s'intéresse d'abord à identifier les organismes et les structures anatomiques. Elle est aussi spécifique : toute connaissance s'inscrit dans le cadre d'une espèce vivante ou d'un groupe d'espèces. Décrire et nommer sont alors les activités principales. Ce vaste recensement met en perspective les particularités de l'humain dans

une large vision de l'unicité fondamentale du vivant et constitue une des forces du regard que la biologie apporte à une formation humaniste.

Les questions sont alors « qu'est-ce que c'est ? » et « comment ça s'appelle ? ».

D'autre part, avec la paléontologie et l'étude des fossiles, la biologie devient aussi historique : avec le projet de reconstruire une chronologie complète de la vie, les comparaisons suggèrent des causalités et apparaissent les questions « Comment ? » et « Pourquoi ? ». Ces trois axes fondamentaux : empirique, ontologique et historique définissaient la biologie *in vivo* jusque vers 1950 ; et ils continuent à marquer les attitudes, l'enseignement et les valeurs de cette science.

### 2.1.4 **Deuxième étape : la biologie expérimentale**

Au milieu du 19ème apparaît le paradigme expérimental avec Claude Bernard notamment. Dans tous les domaines, ce paradigme s'impose et nous prendrons l'exemple de la biologie moléculaire qui aborde la compréhension de la vie en termes de ses mécanismes moléculaires sous-jacents. On parle de biologie *in vitro*: « Comment ça fonctionne » s'impose comme une question fondamentale. « Cette nouvelle vision ouvre des possibilités d'action qui se révéleront lors de l'essor du génie génétique ». (Morange, 2003 p. 6)

Au cœur de cette biologie réductionniste basée sur des relations chimiques, surtout stéréochimique avec les complémentarités de forme et le modèle *clé-serrure* comme métaphore, on trouve l'ADN, décrite comme une molécule et représentée comme une double hélice.

### 2.1.5 **Troisième étape : d'une biologie de la forme à une biologie de l'information**

Cependant la troisième phase est déjà en germe dans la deuxième : « La biologie moléculaire [… est] une nouvelle manière de percevoir le vivant comme réservoir et transmetteur d'information. » (Morange, 2003 p.6)

Dans les années 40 commence une transformation de la biologie qui va devenir moléculaire : la montée d'une biologie réductionniste basée sur des relations stériques, avec les complémentarités de forme et le modèle "*clé-serrure*" comme illustration typique où les relations entre 2 molécules sont vues comme les complémentarités de forme entre la clé et sa serrure. Cette métaphore est très souvent utilisée dans l'espoir de rendre accessible à un relativement large public les interactions entre des orbitales électroniques qui déterminent les liaisons chimiques. En même temps apparaît de manière moins visible au grand public et plus discrète au début, une métaphore plus abstraite, informationnelle. Durant cette période, l'influence de physiciens et des chimistes est décisive.

*Quelques jalons notables de cette époque :*

En 1941, George Beadle et Edward Tatum publient une expérience démontrant le lien fondamental entre un gène et une enzyme. Jusqu'alors le gène était perçu comme une entité abstraite, on ne cherchait pas à en trouver le support matériel. Ignorée par une grande partie de la génétique de l'époque, prestigieuse et formelle, cette expérience stimule la recherche des bases biochimiques de l'hérédité.

En 1944, Oswald T. Avery publie une expérience dite de "la transformation" démontrant que les gènes étaient faits d'ADN et ouvrant donc la génétique, potentiellement d'abord, aux outils de la chimie.

Une biologie marquée par des physiciens, autour de la guerre en 1945 :

> " L'apport le plus important des physiciens est peut-être simplement d'avoir été convaincus - non sans une certaine naïveté - et d'avoir convaincu les biologistes que le

> secret de la vie n'était pas enfoui à tout jamais hors de leur atteinte, mais était à leur portée immédiate, juste là-bas au coin de la rue." (Morange, 2003 p. 133)

Pourtant l'ADN résiste à l'analyse : sa nature très monotone ne cadre pas bien avec une biologie –dominée par les succès de l'immunologie – qui recherche une spécificité de forme, un moulage en somme –, et trouve une molécule entourée de sucres (le Désoxyribose) dont on ne voit pas comment ils pourraient permettre de produire la diversité nécessaire à encoder les innombrables gènes.

En 1945, Chargaff a mesuré les pourcentages des bases Adénine Thymine Cytosine Guanine et trouvé qu'ils varient mais que les pourcentages de Adénine et de Thymine sont égaux comme ceux de Cytosine et Guanine : on parle de la *Règle de Chargaff*. La portée de cette découverte n'est alors pas encore pleinement comprise.

En 1952, Avery réalise, avec des virus à bactéries (des Phages) et des bactéries, une expérience de marquage séparé des protéines et des acides nucléiques qui démontre que les acides nucléiques sont déterminants pour la prise contrôle et la reproduction du virus dans la bactérie. Cette expérience est répétée indépendamment par Hershey et Chase à qui on l'attribue en général. " Avery avait apporté un résultat inattendu et répondu à une question que personne ne se posait : la nature du matériel héréditaire. Hershey et Chase posaient eux, une question très simple : Etant donné que le bactériophage était formé de deux constituants seulement ADN et protéines, lequel était important pour la reproduction ? " (Morange, 2003)

Le rôle central de l'ADN dans l'hérédité commence alors à être établi, mais on ne voit guère comment cette molécule à la forme bien trop simple pourrait servir de modèle – de moule en somme – pour toutes les protéines de la cellule.

L'exemple de la découverte de la structure de l'ADN illustre bien ce passage de la forme à l'*in*formation. Le grand public connait la molécule d'ADN, en forme d'échelle torsadée en spirale double : la fameuse " double hélice ", un modèle qui a été proposé par Watson et Crick en 1953 avec l'aide – probablement pas suffisamment reconnue - de Rosalind Franklin –Watson et Crick reçurent le prix Nobel en 1962. Il est intéressant de noter que si cette date est très connue, rares sont ceux qui peuvent nommer la date où le *code génétique* fut décrypté. On cite la date de 1961 associée aux noms de Marshall Nirenberg et Johann Matthaei (Morange, 2003) alors que d'autres attribuent la paternité à Francis Crick et Sidney Brenner en 1966 ou encore mentionnent l'année 1968 pour le décryptage du code génétique par M. Nirenberg G. Khorana et R. Holley à cause de leur prix Nobel cette année-là. Par contre, surtout dans le monde francophone, on retient fréquemment les noms de Jacques Monod et François Jacob pour avoir découvert en 1960 le rôle central de *l'ARN messager* et formulé ce que certains ont nommé de manière peu scientifique le *dogme fondamental de la biologie*. La *structure* a donc été découverte bien avant et paraît plus souvent citée que l'explicitation du contenu informationnel.

La première mention d'une biologie où les molécules sont surtout le support de l'information semble apparaître en 1953 (Ephrussi, Leopold, Watson, & Weigle, 1953). Le schéma de Monod et Jacob qui décrit le flux d'informations à sens unique, de l'ADN via l'ARN messager vers les protéines a marqué fortement les esprits et reste encore très prégnant dans la vulgarisation et l'enseignement. Ce modèle peut être lu en termes de complémentarités de forme, ou en termes de flux d'informations. On doit faire la distinction (Kay, 2000) entre i) des théories de l'information au sens numérique qui étudient des flux d'informations sans distinguer leur nature avec notamment la loi de (Shannon & Weaver, 1949) comme théorie phare, ii) des théories qui étudient le contenu sémantique de l'information, et iii) celles traitant des séquences biologiques qui expriment au final la spécificité. Nous ne parlons pas des premières mais des secondes et troisièmes formes qui sont celles de la bioinformatique. Nous verrons que cette recherche se

focalise sur l'information sémantique. Nous emploierons souvent le terme de traitement de données plutôt que d'information pour ces deux catégories.

C'est l'époque de la montée des sciences de l'information où la biologie envisage d' « expliquer le fonctionnement des êtres vivants en termes d'information, de mémoire, de code, de message, de régulation par rétroaction,… » (Morange, 2003 p. 223)

Dans bien des schémas scolaires et vulgarisés, c'est plutôt les molécules qui sont visualisées, leurs associations complémentaires de nucléotides et l'appariement des triplets pour aligner les acides aminés formant les protéines qui sont représentés. Ces représentations peuvent être lues sur le plan chimique ou informationnel, mais la nature plus abstraite de l'information et le code lui même, ne sont pas toujours ce qui ressort le plus clairement du schéma. Nous parlons du code au sens informationnel de correspondance entre les triplets sur l'ADN et les acides aminés de la protéine. (Un code est défini comme : *1. Système conventionnel de signes ou signaux, de règles et de lois, permettant la transformation d'un message en vue d'une utilisation particulière.)* (Hachette, 1998)

Parfois, ce code est confondu avec la structure de la molécule d'ADN : à l'évocation du code génétique on répond souvent par une allusion à la double hélice. Il est intéressant de noter qu'une autre confusion fréquente est celle qui confond le *code* au sens informationnel et le *génome* (l'ensemble des informations codées dans l'ADN).

Morange parle pour la biologie moléculaire et l'informatique de "*l'émergence d'une nouvelle vision du monde.* " (Morange, 2003 p. 130)

> Il reste encore aux historiens beaucoup de travail avant que nous comprenions ce qui s'est passé dans les années quarante à soixante, quand naquirent et se développèrent ces deux disciplines fondamentales que sont l'informatique et la biologie moléculaire, quand se mit en place cette nouvelle vision du monde où « l'information et la logique importent davantage que l'énergie ou la constitution matérielle. (Morange, 2003 p. 133)
>
> De fait, le rapprochement des dates est impressionnant :
>
> - 1936 : la machine de Turing, première conception « théorique » d'un ordinateur ;
>
> - 1944 : expérience d'Avery ;
>
> - 1945 : conception du premier ordinateur (EDVAC) par John von Neumann ;
>
> - 1948 : création de la cybernétique par Norbert Wiener ; publication de la théorie de l'information par Claude Shannon ;
>
> - 1953 : découverte de la structure en double hélice de l'ADN et premières réflexions sur le code génétique. (Morange, 2003 p. 133)

Alors que des notions de cybernétique telle que le rétrocontrôle sont "à la mode", François Jacob décortique le mécanisme de régulation de l'expression chez la bactérie avec l'*opéron lac*, et on commence à parler de gènes régulateurs, d'opérons, pour lesquels il reçut le Prix Nobel de Médecine en 1965, avec Jacques Monod et André Lwoff.

Pourtant cette vision en termes d'interactions entre les molécules par leurs formes masque encore pour beaucoup une vision de flux d'informations qui émerge à cette époque. "Biologie moléculaire et informatique : l'émergence d'une nouvelle vision du monde". (Morange, 2003 p. 131)

Les physiciens et les techniques dérivées de la physique ont donc joué un rôle capital dans la naissance de la biologie moléculaire. Cette influence n'est toutefois pas reconnue par tous ceux qui ont étudié l'histoire de cette discipline. Ainsi, pour H.F. Judson in (Morange, 2003), la notion d'information, héritée de la physique, est presque indispensable lorsque l'on veut expliquer quelques unes des principales découvertes de la biologie moléculaire. Mais cette utilité est

rétrospective - cette notion n'aurait joué aucun rôle dans ces découvertes. Les théories de l'information, par exemple le modèle autopoïétique (Maturana & Varela, 1994) et l'idée que le tout peut être beaucoup plus que les parties à cause de l'information qu'elles constituent et d'où émerge un niveau d'organisation plus élevé ont inspiré la biologie qu'on appelait pourtant moléculaire. Les métaphores empruntées à la cybernétique et à la théorie de l'information apparaissent depuis les années soixante dans la biologie moléculaire, et la théorie de l'information pose les bases d'une théorie de l'auto-organisation (Atlan, 1972). Pour cet auteur, ces analyses reprennent de l'importance dans l'ère post-génomique actuelle, en physiologie cellulaire, en immunologie et dans les neurosciences.

Cette biologie a permis d'énormes progrès dans la compréhension de la vie mais a causé des remises en questions fondamentales de concepts centraux : par exemple la notion du gène comme entité essentielle de la constitution des êtres vivants est bousculée. La découverte des effets complexes de gènes et des gènes architectes (Duboule & Wilkins, 1998) remet en question l'idée mendélienne d'associer une caractéristique à un gène. Dans une analyse d'un ouvrage de génétique du développement, (Duboule, 2005) parle de changement de paradigme pour la manière dont la génomique nous montre l'extraordinaire unité fondamentale du vivant et les similitudes remarquables entre les êtres vivants *" and the concurrent change in paradigm that leaves us wondering why then are we so different from other animals*." (Duboule, 2005 p. 955)

La postface de l'ouvrage de Morange (Morange, 2003) s'intitule « Requiem de la biologie moléculaire » : ce titre assez fort marque bien qu'une étape de l'évolution de la biologie se termine en 1975 et justifie que cette étude ait commencé par chercher à identifier ces changements – assez pour en voir les conséquences éducatives.

> La biologie moléculaire est en train de disparaître parce que ses méthodes, mais surtout ses concepts, sont maintenant intégrés dans toutes les disciplines biologiques, de la neurobiologie à la biologie du développement ou à la systématique. Eût-elle envahi une seule, ou seulement quelques-unes de ces disciplines biologiques, elle aurait pu peut-être leur donner son nom. Ayant conquis presque toutes les disciplines, elle ne pouvait que disparaître en tant que telle. Sa disparition est le résultat d'un mariage heureux avec les autres disciplines de la biologie […] L'histoire de la biologie moléculaire relevant aujourd'hui du passé, l'historien ne peut que se réjouir: la biologie moléculaire est entrée dans le champ de son activité normale. (Morange, 2003 Postface à l'édition de 2003 p. 359)

Nous rejoignons d'autres qui sont plus nuancés et voient une coexistence de la biologie moléculaire avec la nouvelle biologie du traitement de données émergente.

> La recherche biologique in silico vient s'ajouter aux méthodes in vivo et in vitro traditionnellement utilisées dans les sciences de la vie. Cette manière d'explorer le vivant constitue un mode de production des connaissances qui relève sous certains aspects de l'histoire naturelle et se distingue de l'approche expérimentale, analytique et réductionniste, qui semble dominer les sciences de la vie au XXe siècle. (Strasser, 2006a p. 7)

La biologie vit une transformation constante au point que, tout spécialement depuis l'avènement de la génomique, le sentiment de vivre une transition est souvent mentionné.

Avec un titre provocant "*Are you ready for the revolution?*" dans le numéro historique du 15 février 2001 de Nature où le génome humain est publié, Butler tient des propos assez forts pour alerter les biologistes sur la nécessité de prendre en compte le changement en cours :

> *If biologists do not adapt to the powerful computational tools needed to exploit huge data sets, says Declan Butler, they could find themselves floundering in the wake of advances in genomics.* (Butler, 2001)

Dans une discipline qui vit la révolution au quotidien depuis des décennies, l'usage des superlatifs du changement devient vite excessif. Pourtant nous allons tenter d'isoler les caractéristiques de ces changements et d'en montrer les conséquences éducatives, d'en discuter l'importance, d'analyser quelques cas de dispositifs d'enseignement de la BIST et de proposer des règles de conception de dispositifs pour l'enseignement.

### 2.1.6 **Une biologie qui change dans tous les domaines**

On assiste à un changement dans tous les domaines de la biologie : si la biologie reste expérimentale, et si la base chimique des processus n'est pas remise en cause, des formes différentes pour l'expérimenter apparaissent et des manières nouvelles d'aborder l'étude de ces processus se développent.

> *For life sciences ranging from ecology, botany, zoology, and developmental biology to cellular and molecular biology--all of which can be characterized as science with diverse data types and high degrees of data heterogeneity and hierarchy--IT is essential to collect key information and organize biological data in methodical ways in order to draw meaningful observations. Massive computing power, novel modeling approaches, new algorithms and mathematical or statistical techniques, and systematic engineering approaches will provide biologists with vital and essential tools for managing the heterogeneity and volume of the data and for extracting meaning from those data.* (Wooley & Lin, 2005 p. 31)

La lecture régulière des revues Science et Nature nous a rendus sensibles à ces changements depuis 2000 environ ; ce que des indices de plus en plus nombreux et solides (Amos Bairoch, 2006; Butler, 2001; Honts, 2003; NRC, 2003; Strasser, 2006a, 2008; Wooley & Lin, 2005) confirment.

Ainsi, sans prétendre à une analyse historique, nous considérons dans cette recherche qu'une troisième phase a commencé : une biologie qui conserve l'ADN au centre, mais où il est envisagé comme une séquence de nucléotides, soit de l'information dématérialisée, n'existant que dans des banques de données. Et de même pour les autres domaines de la biologie, dans ce nouveau paradigme, le vivant est un flux d'informations, les outils et méthodes reposent massivement sur le traitement de l'information (Wooley & Lin, 2005).

En 2003, le séquençage du génome humain manifeste l'avènement de l'ère génomique et l'avalanche de données sur les génomes d'organismes divers révèle l'ampleur de la mutation. On assiste à un changement de méthodes et de stratégies dans tous les domaines. Si la biologie reste expérimentale et si la base chimique des processus n'est pas remise en cause, de nouvelles formes d'expérimentation, d'analyse et de publication constituent des pratiques majoritaires.

*Une façon d'expérimenter renouvelée*

Un chercheur genevois a par exemple trouvé, en explorant le génome de la souris avec des outils bioinformatiques, 110 récepteurs aux phéromones en moins d'une semaine alors qu'on en avait trouvé 3 en 10 ans par des approches moléculaires. En effet, (Rodriguez, Greer, Mok, & Mombaerts, 2000) ont pu trouver des gènes homologues chez l'homme (V1R et V2R) de ceux des récepteurs qui chez la souris détectent les phéromones. Ils ont pu ensuite étudier les neurones qui exprimeraient ces gènes et tester qu'ils réagissent effectivement à différents substances olfactives (Rodriguez, 2003). On voit bien, dans cet exemple, que les techniques génomiques (que nous définirons plus précisément plus bas) ne remplacent pas les approches classiques

moléculaires de « *wet lab* » mais complètent l'arsenal des techniques disponibles pour la recherche.

En évolution, on a exploré la différence entre le chimpanzé et l'homme en comparant les génomes, sans même toucher une pipette : dans la quête des différences entre l'homme et son plus proche cousin le chimpanzé, on a cherché les gènes qui nous différencieraient, on en a trouvé que très peu, et récemment on a exploré les zones de l'ensemble du génome qui ont changé particulièrement vite entre le chimpanzé et nous. Ils ont trouvé une séquence d'ARN (HARF1) qui s'exprime spécifiquement lors du développement embryonnaire du néocortex entre la 7ème et la 19ème semaine. Cette recherche fait appel uniquement à des méthodes de traitement des données de comparaison de séquences et a été publiée dans la prestigieuse revue Nature (Pollard et al., 2006) et a été reprise dans la presse généraliste.

D'un simple fragment de petit doigt fossile trouvé par l'équipe de Svante Pääbo dans une grotte vers Denisova dans les monts Altaï en Sibérie du sud, on a pu séquencer 30 mg d'ADN et le comparer à celui des humains actuels et néanderthaliens (Krause et al., 2010). Les auteurs discutent la proximité des séquences et concluent à une probable nouvelle espèce. Trouver un petit doigt, ni même en séquencer l'ADN, ne justifie actuellement la publication dans une revue comme Nature, mais le traitement de cette information en la comparant à d'autres produit est un nouveau savoir qui est publiable.

En recherche médicale fondamentale, on dispose, par exemple de « puces à ADN » qui permettent de mesurer le taux d'expression (en ARNm) de très nombreux gènes en même temps. Certaines mesurent l'expression de 50'000 gènes d'un seul coup, soit tout le génome humain ou de souris avec même une marge de redondance. On peut ainsi mesurer le profil de la totalité des gènes exprimés à un moment donné dans un tissu donné. La comparaison de plusieurs profils permet de déterminer l'évolution de l'expression des gènes produits ou de chercher les différences et des corrélations entre des échantillons différents. Cette masse énorme d'information brute ne constitue pas des savoirs utilisables et ne justifie pas la publication. Les méthodes de traitement complexe des données sont ici la clé de l'identification des gènes qu'il faut surveiller pour pronostiquer. Ainsi, on a profilé les gènes exprimés dans les cancers du sein pour pronostiquer l'apparition de métastases et éviter des chimiothérapies inutiles, en effet la comparaison des profils d'expression de nombreuses tumeurs (cancer du sein) dont on savait *a posteriori* si elles avaient produit des métastases ou non, a permis de déterminer une centaine de gènes ayant un degré d'expression différent dans les tumeurs qui ont développé des métastases. On peut ainsi créer un test qui permet de prédire s'il faut traiter par chimiothérapie (on parle de *mauvais pronostic*) ou non et éviter ainsi de traiter inutilement 70-80% des femmes qui n'allaient pas développer de métastases (*bon pronostic*) (van de Vijver et al., 2002).

Là aussi, la richesse et la pertinence du traitement de l'information produit la plus-value de savoirs qui justifient la publication.

Cette biologie *in silico* remet même en cause la *spécificité* si chère aux biologistes – au sens où toute connaissance en biologie doit se référer à l'espèce concernée – puisqu'avec le séquençage écologique on y explore (par le séquençage d'ADN extrait de milieux comme le sol, les abysses ou la peau humaine) les fonctions des gènes sans référence à leur espèce. On parle de métagénomique, de séquençage de masse ou d'ADN écologique.

Craig Venter, qui est souvent cité comme pionnier de cette approche globale, a séquencé 6.3 milliards de bases à partir d'échantillons au fond de la mer des Sargasses et y a trouvé des millions de nouveaux gènes, 1700 nouvelles familles de protéines et estimé qu'il y avait là 1800 nouvelles espèces (Venter et al., 2004). Des chercheurs de Diversa, Corp. ont analysé des échantillons de sol : on sait combien il est riche en réactions qui pourraient être utiles, purification, détoxification, fixation de l'azote etc. mais c'est un monde peu connu, d'autant plus

que 99% des bactéries du sol ne peuvent être cultivées au labo. Or, dans un seul échantillon de sol du désert, (Gray, Richardson, Robertson, Swanson, & Subramanian, 2003) ont identifié plus de 100 nouvelles enzymes (des estérases) : jusqu'alors ils n'en connaissaient que 200 !

Nous ne tenterons pas de mesurer la portée des changements les plus récents comme *e-science, Grid Computing* que nous rangerons hardiment dans les BIST 4 avec la biologie des systèmes parce qu'elle les met en œuvre. Personne ne semble avoir assez de recul sur ce qu'est vraiment la biologie des systèmes et son impact sur la recherche.

Selon certains, on assiste aussi à une remise en question de la logique hypothético-déductive : sans avoir formulé très clairement des hypothèses, on amasse des données puis on y pêche par des traitements assez génériques (*data – mining*) des particularités remarquables qui pourront être l'objet de découvertes. (On parle de recherche *hypothesis –driven* ou *Data driven) "It is considered in some quarters that hypothesis-driven methods are the only valuable, reliable or significant means of scientific advance. Data-driven or "inductive" advances in scientific knowledge are then seen as marginal, irrelevant, insecure or wrong-headed, […]. Many fields are data-rich but hypothesis-poor. Here, computational methods of data analysis, which may be automated, provide the means of generating novel hypotheses, especially in the post-genomic era."* (Kell & Oliver, 2004)

Nous ne nous prononcerons pas sur cette question qui fait débat ; voir par exemple (Blagosklonny & Pardee, 2002; Bray, 2001). Il ne nous semble cependant pas que l'issue de ce débat doive remettre en question l'enseignement secondaire, et en tous cas nous avons écarté cette problématique. Par contre une forme de *data – mining* particulière occupe une place centrale dans cette recherche : l'investigation par les élèves de ressources bibliographiques nombreuses, sur internet notamment.

*Plus de la moitié de leur temps à pratiquer le traitement de données*

Nos enquêtes informelles ont mis en évidence que les biologistes n'ont pas tous conscience d'un changement, mais qu'ils passent tous plus de la moitié de leur temps à pratiquer le traitement de données au sens large.

Une trentaine de biologistes de divers horizons ont été interrogés informellement lors de contacts et d'échanges divers sur l'importance de traitement de données à l'ordinateur dans leur activité et sur l'opportunité de l'enseigner. Des biologistes en génétique médicale, en génétique moléculaire, en botanique, en zoologie, en archéologie, dans des laboratoires de production, études d'impact, … etc. Une douzaine d'entretiens ont duré environ 1h30, les autres étaient de brefs entretiens.

Les pourcentages mentionnés par les personnes interrogées sont généralement de 30 à 70 % avec une médiane au-dessus de 50% de leur activité (minimum unique : 15%).

Selon ce sondage, pour la génomique, ils sont en général formés *sur le tas* dans les labos par un collègue qui est plus compétent.

Très rares sont ceux qui ont suivi une formation certifiée qui aiderait à mettre en perspective leur propre discipline, ce que confirme le (NRC, 2003).

Interrogés, la plupart ne reconnaissent pas les différentes formes de traitement de données comme activité d'un biologiste qui mériterait de faire partie du curriculum fondamental des biologistes, elle est mentionnée comme une sorte d'activité annexe, nécessaire, chronophage, mais pas vraiment « de la biologie ».

Alors que l'activité de recherche est largement transformée, la définition de ce qui constitue la biologie légitime ne semble pas changer. Un chercheur en biologie moléculaire fondamentale me confiait vers 2006 que « ce n'est pas de la biologie » donc il ne l'enseignait pas à ses étudiants,

alors même qu'il y passait plus de 50% de son temps. Un autre préparait un TP sur la digestion par une enzyme de restriction de plasmides et ne suggérait pas aux étudiants d'aller voir eux-mêmes la base de données d'où il avait tiré la structure et la séquence du plasmide. Pourtant la longueur des fragments obtenus lors de la migration sur gel dépend de cette séquence et de la structure circulaire et on ne peut pas comprendre le mécanisme d'action de l'enzyme sans ces informations. Interrogé, il a mentionné que ce n'est pas de l'expérimental en biologie. On peut supposer que pour lui, la biologie est d'abord moléculaire et il recherchait donc une authenticité dans les manipulations des pipettes et des éprouvettes ou du gel d'électrophorèse par les élèves. Nous pensons que dans l'expérience, c'est la manipulation des concepts qui permet la (re)construction de la connaissance scientifique par chaque élève. Les manipulations des éprouvettes et pipettes sont souvent nécessaires – mais non suffisantes – pour permettre cette manipulation des concepts. Car « il faut s'assurer que l'apprentissage *hands-on* permettra bien de remonter "des mains jusqu'à la tête » (Astolfi, 2008 p. 63). Ce n'est pas souvent le cas selon le constat que font plusieurs études sur les effets des laboratoires dans l'apprentissage des sciences (Fisher, Henderson, & Fraser, 1997; Hodson, 1996; Hofstein & Lunetta, 2004).

> *… That although many biology teachers' articulated philosophies appeared to support an investigative, hands-on, minds-on approach with authentic learning experiences, the classroom practice of those teachers did not generally appear to be consistent with their stated philosophies.* (Hofstein & Lunetta, 2004 p.39)
>
> *Clearly, serious discrepancies exist between what is recommended for teaching in the laboratory-classroom and what is actually occurring in many classrooms.* (Hofstein & Lunetta, 2004 p.47)

Ainsi, une modification des pratiques de recherche et de publication redéfinissent au moins un peu ce qu'est l'expérimentation et pose la question de la transposition de ces changements dans l'enseignement des sciences. En particulier, la manière dont l'expérimentation est conceptualisée et pratiquée en classe semble devoir être revisitée et élargie.

Dans la perspective éducative, nous retenons que le changement est partout en biologie ce que confirment les rapports (Wooley & Lin, 2005) et (NRC, 2003).

Pour synthétiser, nous considérons pour cette recherche que la biologie est (dans son paradigme actuellement dominant) d'abord une science empirique et descriptive qui prend ses racines dans l'observation et la description – démarche qui remonte au moins à Aristote. Elle est aussi ontologique : elle s'occupe de classification et de systématique. La biologie est aussi historique : la reconstruction d'une chronologie complète de la vie est l'un des buts de la biologie et, avec elle, apparaissent les questions « Comment ? » et « Pourquoi ? ». Pour ces auteurs, ces trois axes fondamentaux définissaient la biologie jusque vers 1950 ; et ils continuent à marquer les attitudes, l'enseignement et les valeurs de cette science. Avec l'avènement de la biologie moléculaire, l'expérimentation, souvent quantifiée, devient une pratique reconnue et la recherche des mécanismes sous-jacents un objectif central : le « Comment ça fonctionne ?» c'est-à-dire la modélisation prend une place prépondérante sur les simples descriptions. Ainsi, la compréhension de ces mécanismes et leur modélisation est au cœur de l'épistémologie de la biologie dans son paradigme actuel.

### 2.1.7 **Identifier les transpositions de la biologie actuelle à reconsidérer : quatre problématiques pour l'éducation**

Un changement profond de la biologie étant raisonnablement établi, nous aimerions qualifier les aspects de ce changement pertinents à l'éducation et sélectionner ceux que nous retenons pour cette recherche. Nous avons identifié quatre problématiques dans une perspective éducative et ne prétendons pas que ces catégories soient fondées philosophiquement ou dans d'autres épistémologies.

Les changements que nous avons retenus parce qu'ils posent des problèmes à l'éducation et la formation des enseignants sont donc des axes par lesquels la question de la transposition dans les pratiques scolaires nous paraît devoir être posée.

Comme les changements que nous étudions sont plus larges que la bioinformatique *sensu stricto,* nous avons renoncé à l'utiliser pour définir l'objet de nos recherches – même en précisant au sens large, le sens prédominant s'imposait – et nous avons recherché un autre terme, et si l'anglais permet de construire *IT-rich Biology*, sa traduction en français est difficile. Le terme de Biologie *in silico* est aussi employé en référence à la distinction *in vivo* et *in vitro* qui a divisé la biologie il y a une quarantaine d'années, mais il nous a semblé aussi perçu comme se référant aux traitements de données de séquence principalement.

Puis nous avons choisi de forger un terme nouveau et un acronyme : BIST. Au début de la recherche, il désignait la BIologie Supportée par les Technologies, mais il est devenu Biologie InStrumentée par les Technologies pour mieux mettre en avant le concept d'instrumentation et d'instrumentalisation (Rabardel, 1995). La lettre S a été conservée pour la prononciation et parce que l'acronyme BIT existe déjà pour une organisation internationale et est un terme courant en informatique où il représente l'unité d'information dans un système digital.

Nous voulons ainsi nous éloigner d'une vision dans laquelle les artefacts[2], souvent appelés « outils », seraient transparents et fourniraient des données reflétant fidèlement une réalité qu'ils mesureraient objectivement, comme si les méthodes de mesure, les hypothèses étudiées et le cadre conceptuel n'influençaient pas les données et les conclusions. Nous voulons aussi prendre de la distance avec une vision proche du relativisme épistémologique où ce qu'on obtient d'un artefact comme résultats ne serait que l'expression du cadre conceptuel qui sous-tend l'artefact. On a pu entendre ce point de vue associé au slogan « le média est le message » en référence à (McLuhan & Lapham, 1994) qui avait pourtant un discours bien plus nuancé.

Un instrument est donc autant dans la tête de l'expérimentateur que dans l'artefact - et là on devrait dire : dans la tête de ceux qui l'ont conçu. « Derrière l'écran il y a toujours quelqu'un » disions-nous (F. Lombard, 1990, 1993). Empruntons à la philosophie une réflexion féconde sur les liens entre l'artefact et son usage « Un instrument n'existe pas en soi, un artefact devient un instrument quand un sujet a pu se l'approprier pour lui-même et l'a intégré dans sa propre activité ». (Rabardel, 1995)

Ainsi, nous considérons que les mesures obtenues avec la BIST sont un construit et non un donné, mais qu'elles disent quelque chose de pertinent sur le monde *un* de Popper, que d'autres appellent le référent empirique (Coquidé, Bourgeois-Victor, & Desbeaux-Salviat, 1999; Martinand, 1996), sans nous prononcer sur la question philosophique de l'existence d'un réel qui échapperait à toutes nos mesures.

Ainsi, les lettres I et S de l'acronyme BIST soulignent que les artefacts technologiques au cœur de ces changements de la biologie sont bien un moyen d'obtenir des résultats nouveaux, mais aussi que le cadre dans lequel ils sont pensés et utilisés détermine en partie ces résultats. Nous avons renoncé à BINST qui est difficile à prononcer.

La BIST pose la question de la transposition de nouveaux artefacts comme les algorithmes BLAST, ceux permettant l'alignement, mais aussi des appareils comme des séquenceurs. Pour certains (Rézeau, 2001), l'instrument est plutôt un prolongement perceptif, l'outil un prolongement de l'action.

---

[2] Notons qu'en biologie le terme *artefact* renvoie à une particularité observée qui résulte de la préparation et est considérée comme non pertinente et écartée (une poussière sur une coupe microscopique par exemple).

Si ces nouveaux instruments permettent de produire des savoirs nouveaux que le biologiste reconnaît comme siens, leur mise en perspective dans l'éducation nécessite une compréhension des conditions d'établissement. Nous adhérons donc à la thèse selon laquelle les observations sont "*instrument-laden*" (ou "*theory-laden*") et que par conséquent on ne peut comprendre les observations faites en biologie sans comprendre les instruments qui les produisent.

La genèse instrumentale – le processus de construction de cet instrument – est le produit de l'instrumentalisation par laquelle l'usager intègre et s'approprie l'artefact et de l'instrumentation, par lequel l'artefact, à cause de ses limites et affordances (les possibilités d'action dans un environnement et les manières dont on peut agir sur cet environnement), détermine l'action de l'usager (Rabardel, 1995). Ces deux processus sont simultanés et leur imbrication complexe.

Pour le chercheur ou l'enseignant, il est utile de les dissocier, de se focaliser tantôt sur les effets de l'artefact sur l'usager ou de l'usager sur l'instrument qu'il est en train de construire. Pour Rabardel, le sujet forme ainsi des schèmes d'action instrumentée. Un schème a trois fonctions principales : une fonction pragmatique (il permet au sujet de réaliser une tâche), une fonction heuristique (il permet au sujet d'anticiper et de planifier son activité) et une fonction épistémique (il permet au sujet de comprendre ce qu'il fait). Ainsi le même artefact peut être instrumenté différemment dans des contextes différents, et constitue donc un instrument différent dans l'esprit de différentes personnes. Par exemple, ce qu'imagine un médecin quand il parle d'une machine à *Polymerase Chain Reaction* (PCR) est très différent de ce qu'un chercheur en génétique des populations ou un criminologue imaginent quand ils évoquent le même artefact : le type de résultats attendus, les situations où ils envisagent de le mettre en œuvre, les questions pour lesquelles ils y feront appel et la manière d'interpréter le résultat diffèrent sans doute grandement : repérer la signature ADN d'un agent pathogène, amplifier une séquence pour l'étudier ensuite, ou repérer des séquences particulières identifiant un criminel, par exemple.

Par conséquent, le même artefact ne peut pas être le même instrument dans un contexte scolaire donné et dans un contexte de laboratoire, il y a forcément transposition (Chevallard, 1999). Il ne suffit pas d'utiliser en classe le même artefact pour que les élèves développent le même instrument que les chercheurs.

Du point de vue éducatif, les changements liés à l'apparition de nouvelles techniques ne se réduisent donc pas à des résultats nouveaux : il est nécessaire de penser leur appropriation dans le cadre élargi de la genèse instrumentale, avec les hypothèses qui le sous-tendent, les questions auxquelles il peut répondre et ses affordances qui orientent la lecture des résultats, en somme, on ne peut pas faire l'économie du processus interactif d'instrumentation et d'instrumentalisation.

> L'introduction d'un nouvel outil doit, au niveau didactique, être gérée dans son impact sur les systèmes d'instruments déjà en place. Ce problème apparaît particulièrement aigu dans le présent contexte de foisonnement technologique. Quels outils doit-on proposer aux apprenants et comment les guider au cours de leur genèse instrumentale pour concourir à l'équilibre de leurs systèmes d'instruments ?» (Trouche, 2007 p. 23)

Ce processus d'instrumentalisation et d'instrumentation se fait en général spontanément et implicitement dans la formation et l'acculturation que (Kuhn, 1972) a bien mis en évidence lors de l'entrée dans la profession, mais la nouveauté de ce changement implique qu'il n'a probablement pas encore pu se faire pour la BIST durant les études que les enseignants ont faites il y a parfois de nombreuses années. Les conséquences éducatives de ce défaut sous-tendent certains des objectifs de cette recherche et l'orientation vers une perspective enseignante.

C'est que la scolarisation – la transposition – est inéluctable (Chevallard, 2004; Perrenoud, 2004; Tardif & Mukamurera, 1999) : l'école adapte et transforme tout ce qu'elle intègre (Baron & Bruillard, 2004). La manière dont la transposition de cette biologie actuelle se produira est encore à inventer, mais on peut déjà retenir qu'on doit aborder l'intégration des artefacts de la

biologie actuelle dans l'école comme un processus – la genèse instrumentale – que chaque enseignant doit faire, par des allers-retours entre des usages destinés à développer des schèmes et des situations pour l'aider à imaginer les possibles usages, les affordances, les contextes d'utilisation possibles et les limites plus que de connaître le mode d'emploi.

*Une nouvelle biologie, quelle transposition en classe : quatre problématiques*

Nous avons donc identifié quatre problématiques – qui traversent la biologie – où la question des changements de la discipline de référence pose la question de leur transposition. Ils ont en commun d'être supportés par les technologies de l'information et de poser un problème à l'éducation secondaire. Il s'agit de la transposition i) de la bioinformatique, ii) du traitement des autres données biologiques, iii) des simulations et de la biologie des systèmes, iv) de l'intelligence informationnelle. Notre recherche s'est progressivement focalisée sur une partie de la quatrième.

### 2.1.8 **Quatre problématiques de transposition de la biologie informationnelle**

La première problématique que la biologie actuelle pose – à notre avis – à l'éducation, est la transposition de la bioinformatique.

Dans son acceptation la plus large, *Bioinformatique* se réfère au traitement informatique de toute information biologique (Claverie & Notredame, 2003), en général en grande quantité.

> *Roughly, bioinformatics describes any use of computers to handle biological information. […] What almost all bioinformatics has in common is the processing of large amounts of biologically-derived information, whether DNA sequences or breast X-rays.* (Bioinformatics Wiki, 2006)

Avec le temps, il est apparu que le terme de bioinformatique s'est restreint : dans son usage courant il se réfère en général aux séquences génomiques, protéomiques voire aux autres *'omics* (voir définition plus bas).

> *"Classical" bioinformatics:*
>
> *Most biologists talk about "doing bioinformatics" when they use computers to store, retrieve, analyze or predict the composition or the structure of biomolecules. As computers become more powerful you could probably add simulate to this list of bioinformatics verbs. "Biomolecules" include your genetic material---nucleic acids---and the products of your genes: proteins. These are the concerns of "classical" bioinformatics, dealing primarily with sequence analysis.* (Bioinformatics Wiki, 2006)

### 2.1.9 **Problématique 1 : transposition de la bioinformatique classique : 'omics.**

Alors que le génome humain est séquencé complètement, librement accessible à chacun, que les bases de données de séquences du *NCBI, de TrEMBL* - contiennent de nombreux autres génomes complets et sont enrichies quotidiennement de millions de bases, les outils permettant d'accéder à ces informations, de les traiter et d'y construire de nouvelles connaissances prennent une importance croissante. De très nombreux outils permettant entre autres des recherches d'identités, de similitudes ou de motifs, sont disponibles librement par un simple accès Web.

On parle généralement de bioinformatique pour ces outils qui seront développés plus loin. D'innombrables termes dérivés ont été crées ou proposés après la génomique et la protéomique, tels que la métabolomique , ou la chronomique (Duboule, 2003). (Amos Bairoch, 2006) en a identifié toute une litanie : « *biomique, cellomique, crystallomique, diagnomique, epigénomique, glycomique, immunomique, interactomique, métabonomique, opéromique, pathogénomique, phénomique, physiomique, protéomatique, régulomique, génomique structurelle et la toxicomique ».*

> *With the advent of genomics and its allied fields of proteomics and bioinformatics, integrating information across many sub disciplines of biology is becoming increasingly important for research and teaching.* (M. A. Campbell, 2003 p. 98)

Ces bases sont de plus en plus reliées entre elles, facilitant l'accès aux différentes dimensions de l'information sur un même objet. Cette interconnexion et le développement d'outils et de stratégies permettent des recherches et des publications à partir de la mise en relation de ces informations. Ainsi, de nouvelles bases sont créées à partir de la compilation de plus en plus complexe de données. Ce qui justifie la publication résulte principalement du traitement des données et guère de la production de ces données qui sont souvent déjà disponibles à tous avant même de commencer la recherche. Elles sont aussi disponibles pour l'éducation, en général sans limitation autre que leur complexité.

### 2.1.10 **Problématique 2 : transposition du traitement des autres données biologiques.**

De nombreuses bases de données regroupent d'autres types de données biologiques, comme les relevés zoologiques et botaniques souvent géoréférencés.

De nouveaux outils permettent la recherche par leur compilation et le traitement statistique ou digital de ces données : on peut citer Global Biodiversity Information Facility (GBIF) qui a pour but d' "*Offrir un libre accès aux données scientifiques primaires concernant la biodiversité* " et regroupe les informations taxonomiques la localisation des relevés associés aux publications primaires. (Lane & Edwards, 2007)

Un exemple de traitement de ces données produisant des savoirs nouveaux et socialement reconnus (c'est-à-dire publiés) est la base SOPHY (Ruffray, Brisse, & Grandjouan, 2006).

Cette base est rendue possible par l'ampleur des données que l'on sait gérer, traiter pour en extraire des synthèses et produire de nouvelles données qui construit une vision phytosociologique de toutes les plantes de France à partir des relevés botaniques par secteur d'un kilomètre carré sur l'ensemble du pays. Ce traitement révèle les associations de plantes statistiquement corrélées (qu'ils nomment phytotypes), leur répartition à travers le pays et les plantes les plus représentatives de ces phytotypes. Ce qui fait la plus-value et produit des savoirs nouveaux justifiant la publication est ici aussi le traitement original de l'information.

Il est aussi à noter que ces données synthétiques sur les phytotypes et leur répartition sont librement disponibles pour tout un chacun à partir d'un simple accès Web, notamment dans les écoles.

### 2.1.11 **Problématique 3 : Transposition des simulations, biologie synthétique et des systèmes**

Dans cette problématique, nous regroupons la biologie synthétique et des systèmes ainsi que les simulations.

La biologie des systèmes est un champ émergent dans la discipline qui est particulièrement lié aux technologies de l'information : il cherche à modéliser et à quantifier des systèmes entiers pour les explorer avec des outils mathématiques et théoriques issus de l'informatique et des sciences de l'ingénieur ; si ses contours sont encore mal définis et son acceptation controversée, elle aborde l'étude de systèmes entiers, on l'appelle souvent *Systems Biology* (Kitano, 2002).

> *... Sophisticated mathematical concepts [that] have illuminated and continue to illuminate the principles underlying biology at a genetic, molecular, cellular and even organismal level. The problem was what to call it.*
>
> *[...] There is considerable interest in this sort of biology at the moment, with well-funded centers springing up at a number of prestigious universities. Most commonly it is*

> *referred to as 'systems biology' […] 'Mathematical Biology' or 'Quantitative Biology' didn't fit the bill, […] 'Computational Biology' it has become* (Surridge, 2002 p. 205)

D'autres le confirment :

> *All really big discoveries are the result of thought, in biology as in any other discipline. Allostery, genes, DNA structure, chemiosmosis, immunological memory, ion channels were all once just a twinkle in someone's eye […] Computer models of action potentials, synaptic integration, heart contraction and even the movements of ions and molecules in cells are now so accurate that they can often be used as experimental objects in lieu of the thing they represent. Biologists can now design and test small genetic circuits in theory and then make them in actual living cells. It seems inescapable that, at least at the level of molecules and cells, biology is moving from an era of data-collection to one of hypothesis-driven research. Progress in this new field will be driven by informed and increasingly quantitative theories — whatever name we choose to give it.* (Bray, 2001 p. 863)

L'étude de voies de signalisation cellulaires avec des simulations aux propriétés prédictives et vérifiables, voire même une forme d'ingénierie sur commande d'organismes aux propriétés nouvelles devient possible. En novembre 2005, la revue Nature a édité un numéro sur la biologie synthétique (Nature editorial, 2005). On a pu par exemple produire des capteurs de lumière d'une finesse inégalée basés sur des bactéries transformées (Bray, 2006) et même une bactérie au génome entièrement synthétique (Lartigue et al., 2009). Ces auteurs suggèrent qu'on assiste à un changement critique de la biologie : en effet on dépasse l'observation et parfois un bricolage par copier-coller du génie génétique pour aller vers des méthodes standardisées, abstraites pour la synthèse d'organismes à la demande (Endy, 2005) : une science appliquée est en train d'émerger qui s'épanouit avec des ingénieurs du vivant. Le grand virage de l'EPFL vers les biosciences est un signe de l'importance accordée aux potentiels de cette approche.

La biologie des systèmes est un domaine de la biologie qui est considéré comme en plein essor, pour preuve un dossier « *Web Focus* » de Nature en novembre 2006 (Kritikou, Pulverer, & Heinrichs, 2006). Ce champ est encore en train de se définir mais on lui attribue en général les caractéristiques suivantes : plutôt qu'une approche réductionniste, on cherche l'intégration et on y aborde la complexité et de très grandes masses de données, on y pratique des allers-retours entre des modèles informatiques et la récolte de donnés expérimentales, le plus souvent on y implique des chercheurs de domaines divers, notamment biologie, ingénierie, mathématique :

> *Systems biology can be viewed in a number of ways, as follows:*
>
> *1. As a discipline or field of study in its own right, involving the quantitative analysis of interactions between elements of biological systems. There is an emphasis on complexity and large data sets, which are typically produced by a variety of high-throughput genomic, proteomic and metabolomic techniques.*
>
> *2. As a set of multidisciplinary methodologies, in which the emphasis is placed on cycles of iteration between experimental data collection and computational or mathematical modeling. These lead to further development of theory, which in turn motivates new experimental investigations.*
>
> *3. As an integrative approach, offering an alternative to the 'reductionist' approach that is seen by many to have dominated the research agenda for years.*
>
> *4. As an organizational phenomenon involving the bringing together, in exceptionally close working partnerships, of scientists from diverse disciplinary backgrounds, particularly the biological, engineering and mathematical sciences.*
>
> *Most initiatives in systems biology include several of these features.*

(Kirkwood, 2008 p. 644)

Au niveau suisse, un centre de recherche doté de 200 millions de francs vient d'être ouvert : SystemsX.ch est une initiative des universités de Zurich, Bâle et des Ecoles Polytechniques de Zurich et Lausanne.

Le paradigme n'est pas encore bien défini : par exemple, le niveau d'abstraction auquel on s'attaque fait encore débat, entre un niveau moléculaire dont la complexité ne permettrait pas d'y construire des modèles de la fonction, et des niveaux supérieurs qui n'ont pas la résolution pour prendre en compte les bases moléculaires de la vie. Aussi, (Brenner, 2010) défend l'idée que c'est au niveau cellulaire que le problème doit être posé. Cet exemple montre bien que la transposition en classe de savoirs encore peu définis est très difficile à imaginer.

Nous avons regroupé dans cette problématique la transposition de la biologie des systèmes et toutes les simulations numériques ainsi que les approches ingénierie des systèmes vivants.

Si ce groupement peut être discuté d'un point de vue épistémologique, nous estimons que sur le plan éducatif, leur unité est d'avoir très fortement recours à des modèles formels, mathématiques, numériques souvent, et le traitement de l'information y est naturellement central. Là est sans doute une des difficultés prévisibles car l'enseignement de la biologie est connu pour être plutôt réticent à ces dimensions (NRC, 2003).

*Problématiques 1 à 3*

Si l'on prend du recul, dans ces trois formes de biologie actuelle, ce que nous retenons est que la plus-value qui rend le savoir socialement reconnu (c'est-à-dire publié) résulte de plus en plus du traitement des données et dans une mesure décroissante de leur production.

Actuellement, les chercheurs construisent de plus en plus des connaissances par le *traitement de plus en plus sophistiqué* des données (notamment de séquences nucléiques). *« La recherche biologique in silico vient s'ajouter aux méthodes in vivo et in vitro traditionnellement utilisées dans les sciences de la vie. Cette manière d'explorer le vivant constitue un mode de production des connaissances qui relève sous certains aspects de l'histoire naturelle et se distingue de l'approche expérimentale, analytique et réductionniste, qui semble dominer les sciences de la vie au XXe siècle. »* (Strasser, 2006a p. 8). Un indicateur de ce changement est qu'elles sont de moins en moins clairement associées dans la publication au statut d'auteur. C'est particulièrement vrai en bioinformatique : en traitant des données qu'ils n'ont pas produites, en construisant leur conclusions sur des démarches et des procédures principalement informatiques et statistiques, ils s'écartent des pratiques reconnues et leur activité n'est pas facilement comprise, raisons pour lesquelles certains ne leur accordent pas facilement le statut de biologistes.

On peut aussi noter qu'une approche par le traitement de données est massivement présente aussi bien en amont (les données et les méthodes utilisées) que dans les productions qui sont souvent des modèles parfois même numériques.

Il faut ici revenir sur le plan de la transposition et relever qu'une réelle compréhension des conclusions tirées de ces données nécessite de comprendre les conditions dans lesquelles elles ont été établies, des techniques de traitement employées et des hypothèses sur lesquelles elles reposent, des limites et du domaine de validité qui en résultent.

### 2.1.12 Problématique 4 : Transposition de l'intelligence informationnelle et construction de connaissances dans des environnements infodenses.

Alors que l'UNESCO souligne que nous assistons à une transformation vers une société de la connaissance (Bindé, 2005), la capacité du citoyen à gérer une information qui se caractérise par son abondance et à construire des connaissances structurées à partir de cette avalanche est en biologie autant – sinon plus qu'ailleurs – critique. En effet, les élèves comme les citoyens sont

inondés d'informations biologiques – qu'ils ne perçoivent probablement pas comme faisant partie de la discipline scolaire : physiologiques (« Comment mon corps fonctionne ? » est une question particulièrement importante à l'adolescence, mais aussi «Comment je vois les couleurs ? Et un daltonien ? » ou « Quels sont les effets de l'alcool sur l'érection ? », etc.), médicales ou épidémiologiques (« Comment je risque d'attraper le SIDA, la grippe,… ? » « Est-ce dangereux de se faire vacciner ? » « Les OGM sont-ils dangereux ? » « La cigarette est-elle plus dangereuse que le cannabis ? », « Si je prends des antibiotiques, est-ce que je deviens résistant aux antibiotiques ? », etc.), neurobiologiques et éthologiques (« Le manque de sommeil influence-t-il l'apprentissage ? » « Comment la mémoire fonctionne-t-elle ? » « La publicité ou les amis peuvent-ils influencer mes décisions ? », etc.), écologiques (« Les forêts vont-elles disparaître avec le réchauffement climatique ? » « Les « puces de canards » sont-elles causées par la pollution du lac ? »), génétiques (« Si mon père est daltonien ou diabétique, vais-je le devenir ? » « Pourquoi je suis blond alors que mes parents sont noirauds ? » « L'intelligence est-elle héréditaire ? », « Comment un test à ADN révèle-t-il un criminel ? », etc.). Cf. notamment (Hagay & Baram-Tsabari, 2011) pour un recensement structuré des questions que se posent les élèves du secondaire.

Ce sont quelques exemples de questions sur lesquelles de très nombreuses informations leur parviennent, par les amis, par les journaux gratuits, les réseaux sociaux, les vidéos échangées mais aussi la publicité ou le cinéma, la TV (« Les experts », « Dr House », etc.) qui forment les connaissances sur la biologie du public autant et probablement plus que les cours de biologie. Aux USA, (Besley & Tanner, 2011) citent un sondage du Pew Internet and American Life Project de 2006 montrant que la télévision et internet étaient les principales sources d'information et de nouvelles en sciences. On peut imaginer que la part d'internet est depuis devenue encore plus importante.

Ainsi, les apprenants sont inondés d'informations biologiques de nature et de validité différente et dans des cadres très différents des cours scolaires de biologie. On peut supposer qu'ils ne font pas souvent des liens avec la biologie scolaire, mais nous pensons que l'école devrait former les élèves – futurs citoyens, consommateurs – à mieux comprendre ces phénomènes vivants.

C'est notamment une des intentions du Plan d'Etude Romand « Dans une société fortement marquée par les progrès scientifiques et technologiques, il est important que chacun possède des outils de base lui permettant de comprendre les enjeux des choix effectués par la communauté, de suivre un débat sur le sujet et d'en saisir les enjeux principaux. Face aux évolutions toujours plus rapides du monde, il est nécessaire de développer chez tous les élèves une pensée conceptuelle, cohérente, logique et structurée, d'acquérir souplesse d'esprit et capacité de concevoir permettant d'agir selon des choix réfléchis. » (CIIP, 2011, pp. commentaires généraux, page web).

Plus généralement, le Plan d'Etude Romand introduit une capacité transversale « La démarche réflexive et le sens critique » dont la visée générale est « La capacité à développer une démarche réflexive et un sens critique permet de prendre du recul sur les faits et les informations, tout autant que sur ses propres actions ; elle contribue au développement de l'esprit critique.» Quelques descripteurs proposés sont :

- Objectivation et anticipation de la tâche :
  - cerner la question, l'objet de réflexion ;
  - évaluer la part de la raison et de l'affectivité dans sa démarche ;
  - tenir compte des faits ;
  - vérifier l'exactitude des faits et les mettre en perspective ;
  - visualiser la tâche à accomplir ;
  - s'appuyer sur des repères ;

- Choix et pertinence de la méthode :
  - choisir la méthode adéquate dans l'éventail des possibles ;
  - justifier sa position en donnant ses raisons et ses arguments ;
  - analyser le travail accompli en reformulant les étapes et les stratégies mises en œuvre ;
  - exercer l'autoévaluation ;
  - reconsidérer sa position ;
  - transférer des modèles, méthodes et notions dans des situations du même type ;
- Remise en question et décentration de soi :
  - développer son autonomie ;
  - prendre de la distance, se décentrer des faits, des informations et de ses propres actions ;
  - renoncer aux idées arrêtées ou toutes faites ;
  - adopter une position ;
  - faire une place au doute et à l'ambigüité ;
  - reconnaître ses préjugés et comparer son jugement à celui des autres ;
  - comparer les chemins, les procédures, les stratégies utilisés par d'autres ;
  - explorer différentes opinions et points de vue possibles ou existants. (CIIP, 2011, pp. commentaires généraux, page web)

On trouve un souci comparable outre-Atlantique dans les recommandations du *Project 2061* :

> *Project 2061 promotes literacy in science, mathematics, and technology in order to help people live interesting, responsible, and productive lives. In a culture increasingly pervaded by science, mathematics, and technology, science literacy requires understandings and habits of mind that enable citizens to grasp what those enterprises are up to, to make some sense of how the natural and designed worlds work, to think critically and independently, to recognize and weigh alternative explanations of events and design trade-offs, and to deal sensibly with problems that involve evidence, numbers, patterns, logical arguments, and uncertainties* (AAAS, 1993b Introduction section)

On nomme ces compétences *Information literacy* en anglais : "*Information literacy is the ability to locate, use, and evaluate information"* (Young & Harmony, 1999). De manière plus complète, les compétences de cette nature nécessaires à un biologiste sont :

> Etre capable de trouver de l'information sur les biosciences depuis diverses sources et de l'évaluer. D'en communiquer les principes oralement et par écrit, d'une manière structurée, pertinente, et en référence aux hypothèses dans lesquelles elle s'inscrit.
>
> Savoir appliquer des compétences numériques avancées aux données biologiques (notamment l'analyse statistique).
>
> Disposer de stratégies bien développées pour mettre à jour et développer leurs connaissances (QAA, 2002 Traduction personnelle)

Cet ensemble de compétences est parfois traduit par littéracie informationnelle ou infolittéracie. Nous éviterons ces termes qui sont polysémiques et souvent utilisés pour se référer à de simples compétences de gestion de ressources bibliographiques ou de techniques de recherche : nous préfèrerons avec (Karsenti & Dumouchel, 2010) l'expression d'*intelligence informationnelle*.

Nous aborderons ces compétences comme faisant partie de la construction de connaissance scientifique dans le contexte éducatif. C'est-à-dire que nous situons l'intelligence informationnelle comme un ensemble de compétences nécessaires – mais non suffisantes – pour qu'un apprenant construise ses connaissances. Cette recherche s'intéresse seulement aux

connaissances scientifiques, dans le contexte de l'éducation, sans prétendre aborder toutes les formes de connaissances ni les autres contextes où elle joue aussi un rôle important (contexte professionnel, artistique, médias, etc.). Notre question est alors comment aider les élèves à construire des connaissances scientifiques dans un environnement surabondant en information.

### 2.1.13 **Centrage sur la Problématique 4**

Cette difficulté à gérer l'afflux continuel et surabondant d'information : savoir faire face efficacement à l'infobésité est un des défis de notre temps (Rocard, et al., 2006). L'auteur de science-fiction Ray Bradbury dans Fahrenheit 451 avait pressenti très tôt ce risque : il décrivait l'effet abrutissant de ce flux médiatique non digéré avec des « murs d'images » qui abreuvent l'épouse du héros d'images (Bradbury, 1953). Alors que les sources d'information et de vulgarisation scientifique se multiplient (magazines, télévision et radio, expositions, sites et portails de science, etc.), nous pensons qu'un enjeu pour l'enseignement des sciences est de dépasser cette sorte de douche agréable d'informations scientifiques coulant délicieusement sur l'épiderme de nos connaissances mais n'y laissant guère plus de traces que les gouttes d'eau dans la douche ou les images dans le roman de Bradbury.

La question n'est donc pas tant comment rendre la science intéressante, mais plutôt comment transformer en connaissances ce flux. Puisqu'il existe de très nombreuses ressources de science passionnantes à tous les niveaux de formulation, depuis les livres pour enfants jusqu'aux ouvrages académiques et à la littérature primaire, qu'une abondance de médias capables d'intéresser nos élèves les arrose et que toutes ces ressources sont de plus en plus accessibles à l'éducation en classe, la question n'est pas tant le défi de passionner les élèves, mais de conduire cet intérêt jusqu'à la construction de connaissances, et en particulier de connaissances scientifiques. Paradoxalement, l'intérêt des élèves n'est pas la solution recherchée, mais le début du problème ! Nous vivons dans un environnement *infodense,* c'est-à-dire dense en information, dans un flux souvent passionnant, mais qui ne conduit pas automatiquement à des connaissances scientifiques.

L'école ne peut pas simplement rester étanche à ces ressources, en évoquant par exemple leur qualité hétérogène ou en se référant au passé. Elles font partie – pour le meilleur ou pour le pire – de la vie des élèves (Hollenstein, Sydow, & Wörter, 2003) et leur maîtrise est une compétence importante pour leur avenir.

C'est d'autant plus important dans une société dite de la connaissance, où ce sont les individus les plus à même de gérer les réseaux et l'information qui auront les meilleures places (Gibbons, 2000). Il y a donc un enjeu citoyen que Bradbury avait bien mis en évidence : sa femme avait progressivement complètement perdu son autonomie et se laissait manipuler par les médias. Subir sans recul critique ce flux, aussi agréable puisse-t-il être, c'est être subtilement se laisser influencer et perdre de son autonomie, et *in fine* subir plutôt que gérer sa vie. Nous pensons que l'argumentation scientifique est un élément important de ce regard critique sur le monde.

Le consommateur, le citoyen sont quotidiennement confrontés à des produits des biosciences (médicaments, thérapies, produits industriels, OGM), et l'on voit des attitudes très diverses face aux enjeux éthiques que ces biosciences soulèvent.

> En matière de culture, on ne peut plus se contenter de connaitre Madame Bovary de Flaubert, Belle du Seigneur d'Albert Cohen, la fugue pour deux - violoncelles de Schubert, et se gausser en public de ne rien comprendre à l'ADN, aux particules élémentaires (celles qui composent la matière, pas le dernier roman à la mode!), à la théorie quantique ou aux nouvelles céramiques industrielles. Les sciences et les techniques font désormais partie de notre univers culturel. (Giordan, 1998 p. 9)

Nous avons vu que la biologie n'échappe pas à cette tendance à la surabondance – bien au contraire – puisque des masses d'informations énormes sont produites à des rythmes exponentiellement croissants, notamment dans les bases de données de séquences ou d'autres données biologiques (Wooley & Lin, 2005).

Cette problématique de la construction de connaissance à partir des données reflète une préoccupation croissante dans la recherche en biologie. En effet, si la somme d'information augmente vertigineusement, les savoirs que la recherche produit n'augmentent pas de la même façon : les expériences actuelles produisent souvent tellement de données – entre autres parce qu'il est plus aisé de produire d'énormes masses de données nouvelles qui permettent des publications alors que le traitement de données existantes nécessite une grande créativité et de la persévérance. Ainsi, on n'a plus assez de temps pour gérer ces données et les banques de données accumulent des masses exponentiellement croissantes de séquences ou d'autres données biologiques qu'on a de la peine à exploiter pleinement ou même à financer –parce que cela ne permet guère de publier. Cet état de fait inquiète certains, notamment ceux qui gèrent ces bases de données : l'ex directeur et fondateur de SwissProt disait récemment qu'on n'a pas besoin de plus d'expériences, on a besoin de plus de temps pour chercher dans les données (A. Bairoch, 2006). Pour lui, ce qu'il faut développer, c'est le *data mining* : le traitement des données pour y trouver les perles dans la masse. L'historien des sciences Bruno Strasser souligne que ce souci n'est pas nouveau, tout au plus peut-être accru : produire du sens à partir de données abondantes et brutes a toujours été l'enjeu fondamental de la recherche dans certaines sciences comme l'histoire naturelle (Strasser, 2006a).

Dans la recherche, des masses de données brutes ne deviennent pas automatiquement des savoirs, c'est ce travail de traitement qui leur donne du sens et de la valeur sociale qui en justifie la publication. Savoir gérer la surabondance d'information – pour éviter cette surcharge mais surtout pour en extraire le sens et produire des connaissances – c'est faire de la science, c'est donc une pratique fondamentale qui devrait avoir une place centrale en science.

La question de la transposition de cette activité des chercheurs en classe ne peut plus être ignorée. Comment rendre les élèves capables de produire des savoirs socialement valables à partir de données brutes surabondantes. Il ne s'agit pas simplement d'un changement des canaux d'accès aux informations ou d'un surcroît de données, mais d'un renversement de la manière dont l'apprenant se forme. Gilbert Paquette parle de renversement de paradigme : au lieu de recevoir une information qui est sélectionnée, prescrite, préparée, dans des institutions clairement reconnues et lors d'études clairement délimitées, l'apprenant est inondé d'informations hétérogènes de sources informelles et acquiert des connaissance tout au long de son parcours.

> On demande ainsi à chaque individu de choisir des informations de sources diverses et de les intégrer en un ensemble cohérent et utile pour son travail ou sa vie en société. En fait, on lui demande d'acquérir avec un minimum d'aide, des habiletés et des connaissances de plus haut niveau que celles qu'il développait par le passé et qui lui permettaient de choisir les bonnes informations, puis de les transformer, de les utiliser et de les communiquer.
>
> Se rend-on compte des exigences que cela pose ? Non seulement la quantité des informations et des connaissances disponibles croît-elle très rapidement, mais elle exige, pour isoler des autres les connaissances fiables et utiles, l'usage de connaissances et d'habiletés auxquelles les méthodes de formation traditionnelles nous ont peu préparés par le passé. (Paquette, 2002a p. 13-14 Traduction personnelle)

Paquette définit l'information comme les données extérieures à la personne et les connaissances comme les constructions mentales qui résultent des informations lui sont communiquées. Nous reviendrons sur cette définition plus bas, mais retenons que de nouvelles compétences – l'intelligence informationnelle (Karsenti & Dumouchel, 2010) – sont désormais nécessaires pour

permettre à chacun, tout au cours de sa vie, de se construire des connaissances à partir de ce vaste flux d'informations et défendons l'idée que le développement de ces compétences d'intelligence informationnelle est une responsabilité qui échoit en partie au moins à l'enseignement des sciences.

La problématique 4 s'intéresse donc aux moyens de développer des connaissances – spécifiquement des connaissances scientifiques, mais nous y reviendrons – dans ces environnements infodenses et s'intéresse à cette intelligence informationnelle.

### 2.1.14 **L'authenticité à la lumière de la transposition didactique**

Avant de définir ce que nous entendons par connaissance scientifique, en référence à la pratique des chercheurs en biologie mais dans le but de la développer chez les élèves, nous devons faire un détour par les dégradations que les savoirs subissent inéluctablement depuis leur production par les chercheurs jusqu'à leur enseignement en classe, afin de discuter comment, malgré ces transformations, la production de *connaissances* scientifiques – chez chaque élève – pourrait être développée dans les cours de biologie.

Les savoirs de référence ne sont jamais enseignés tels quels : la pratique sociale de référence (Martinand, 1989) est en principe pour la biologie la recherche académique, mais les savoirs qu'elle produit ne peuvent pas être utilisés sans modifications dans l'école pour plusieurs raisons que nous développons ci-dessous. Si le concept de transposition didactique est dû au sociologue (Verret, 1975), c'est (Chevallard, 1991) qui l'introduit dans le champ de la didactique et analyse combien le savoir se transforme depuis le savoir de référence, le savoir prescrit, le savoir enseigné et les connaissances acquises par les élèves.

Ainsi, une première transformation des savoirs savants (ceux que produisent les chercheurs en biologie) produit les savoirs à enseigner, les programmes et les plans d'étude : c'est l'œuvre de la noosphère « sphère où l'on pense le fonctionnement didactique » (Chevallard, 1991 p. 25) soit les experts et autorités scolaires qui déterminent le savoir « à enseigner ». On a là un premier écart – inéluctable - à l'authenticité des savoirs scolaires : ce qui est prescrit ne peut pas être identique à ce que les chercheurs ont produit. «Les contenus de savoirs [sont] désignés comme étant à enseigner, explicitement : dans les programmes; implicitement : par le truchement de la tradition, évolutive, de l'interprétation des programmes » (Chevallard, 1991 p. 39).

Les transformations que subissent les savoirs (Tardy, 1993) sont assez bien identifiées et systématiques : perte de substance sémantique, simplification, affaiblissement, dévoiement, altération des concepts, réduction, simplisme des modèles explicatifs, dépersonnalisation du savoir transposé par effacement du sujet d'énonciation, donc évacuation de la responsabilité du locuteur par rapport à son énoncé. Présence abusive du « figuratif » (exemples, illustrations, références...) dans le savoir scolarisé, et survalorisation de l'apparat didactique. Décontextualisation du savoir par rapport à ses conditions de production, d'où pertinence affaiblie.

Généralement dans le processus de transposition didactique, la notion est décontextualisée, présentée hors du contexte qui lui donne du sens (Astolfi & Develay, 2002). Comme purifiée, elle n'est plus étayée. On présente les résultats sans les mécanismes de leur production, les conclusions sans le processus qui les étaye. Ces auteurs mettent en évidence que la transposition exprime aussi des équilibres entre des influences : ils parlent de « croisements complexes» entre une logique conceptuelle, un projet de formation et les contraintes professionnelles.

Nous pensons que cet appauvrissement est peut-être une sorte de recontextualisation dans un autre contexte socioprofessionnel et culturel, celui de l'école – qui lui donne un autre sens.

Il y n'y a donc pas seulement appauvrissement, il y a reconstruction des savoirs dans le contexte scolaire. Une deuxième transformation, appelée transposition interne, est celle qui conduit du

savoir à enseigner au savoir enseigné : c'est la manière dont l'enseignant-e transforme (« apprête » dit Chevallard) les savoirs prescrits pour en faire son cours « Pour l'enseignant, l'outil essentiel de sa pratique est le texte du savoir (qui, par lui, devient parole), dans les variations qu'il s'autorise à lui imprimer. » (Astolfi & Develay, 2002 p. 35). On a ici une plus grande distance encore avec les savoirs savants : l'authenticité totale ne peut donc pas exister en classe.

L'observation des changements de la discipline ne peut pas conduire directement à des changements des savoirs enseignés. Ces processus de transposition sont inéluctables.

Régulièrement des chercheurs ou praticiens de la biologie portent des jugements sur les programmes et les plans d'études qui semblent ignorer cette transposition. Par exemple, (Stern, 2010) de l'Institut des sciences comportementales de l'EPFZ, et Ernst Hafen, professeur à l'Institut de biologie moléculaire, affirment dans le journal Le Temps que « A l'école, la biologie n'est plus à jour. » Bien qu'ils défendent une position que nous trouvons recevable – ils souhaitent que l'évolution soit au centre de l'enseignement – leur ignorance de cette transposition invalide peut-être leur argumentation auprès des personnes qu'ils cherchent à convaincre : les enseignants.

La didactique montre bien qu'il est vain d'espérer plaquer tels quels les changements observés dans la biologie de référence directement en classe. Un choix doit être fait sur l'opportunité, la pertinence, la manière de faire des changements éventuels. La transposition interne met en évidence la marge de manœuvre et la responsabilité de l'enseignant.

En somme, l'authenticité se définit par rapport à un paradigme et la question est alors *à quel* paradigme, celui de l'école ou celui de la recherche, on se réfère.

Et ces mêmes auteurs (Astolfi & Develay, 2002) cadrent la question de l'authenticité en classe en démontrant que la question n'est pas si il y a transposition didactique puisqu'elle est inhérente à l'enseignement. Par conséquent le problème est comment bien transposer. Elle doit être raisonnée, même si les conditions d'un raisonnement parfait ne sont pas totalement réunies.

Par rapport à la nécessité de prendre en compte la biologie actuelle, Rumelhard souligne l'importance de savoir prendre : « la distance par rapport à l'urgence de l'intervention technique et sociale, permettant la mise en question critique des savoirs et de leur fonctionnement individuel et social » (Rumelhard, 1995 p. 337) et insiste sur : « le refus du fétichisme de la modernité, de la recherche du savoir le plus récent trop souvent couplé au prophétisme des découvertes à venir » (Rumelhard, 1995 p. 337) . Ainsi la position extrême qui serait de tenter de plaquer tels quels les derniers progrès de la biologie en classe n'est pas tenable, mais devant l'ampleur du changement nous argumenterons que le statut quo n'est pas défendable non plus.

Nous proposons de distinguer les contenus – qui changent et dont la transposition est moins complexe – des démarches et instruments – au sens de Rabardel (Rabardel, 1995) – nouveaux qui impliquent des compétences cognitives nouvelles.

Nous relevons qu'en observant cet appauvrissement dans les ressources scolaires, on est en fait en train de juger depuis un paradigme ce que sont les savoirs dans un autre paradigme. C'est un peu regarder par la tranche un savoir qui est large dans un autre plan, nous le verrons plus bas avec le modèle de la perpendicularité. Les ressources produites dans un paradigme peuvent être riches dans le paradigme qui les a produits et pauvres dans un autre. La question de l'authenticité peut donc être traduite en termes d'adhésion à un paradigme.

Effectivement, depuis le paradigme du chercheur, les documents scolaires ont de fait perdu une grande partie de l'épaisseur métacognitive qui devrait permettre la connaissance scientifique (modèles et hypothèses dans lesquels la notion s'inscrit, discussion des conditions d'obtention des résultats, débat sur la construction des conclusions, etc.). Dans le paradigme scolaire, ils ont

peut-être une épaisseur importante, leur résistance le suggère. Il serait intéressant de discuter ce qui fait cette ténacité. Nous ne le ferons pas ici.

Nous argumenterons donc que la confrontation à des ressources issues d'un paradigme suscite les questions et les réponses de ce paradigme. La question de la transposition doit donc inclure une réflexion sur l'authenticité – dans quel paradigme – des ressources qui appellent les questions et les réponses de ce paradigme. Et donc l'articulation des paradigmes traités en classe exprimés en termes de ressources, de questions, de réponses. Dans cette recherche, nous avons tenté d'en imaginer des transpositions possibles. Cela fonde une conjecture de design (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources).

### 2.1.15 La surabondance d'information : un problème pour l'école ou une opportunité d'affronter la complexité du monde ?

Une des caractéristiques de la connaissance scientifique est qu'elle est basée sur des données et nous avons discuté plus haut que cela implique qu'on cherche à confronter les élèves – avec un étayage adéquat (structurant et stimulant) – à des documents plus authentiques donc basés sur des données (ainsi que les théories et modèles qui les produisent). Les documents plus authentiques sont plus complexes mais sont une forme d'approche *par procuration* des données de recherche. Nous discuterons plus bas des formes que cet étayage peut prendre. Nous avons mis en évidence que la biologie actuelle offre aisément l'accès à des données de très haute qualité : des données de séquences comme Genbank, Uniprot, etc., des données botaniques de banques comme SOPHY (Brisse, De Ruffray, Grandjouan, & Hoff, 1996), d'expression des gènes dans l'embryon comme Eurexpress (Diez-Roux et al., 2011) ou des ouvrages académiques on-line offerts par le NIH dans le portail Bookshelf comme (B Alberts et al., 2002; Janeway, Travers, Walport, & Shlomchik, 2001; Purves et al., 2001), l'accès à des revues spécialisées comme Nature ou Science,… et la liste pourrait être allongée indéfiniment. Evidemment internet offre aussi – et plus facilement – accès à des ressources de qualité intéressante comme Wikipedia, voire médiocre ou mauvaise. On y trouve des documents avec des niveaux de formulation, des degrés de vulgarisation très différents : «globules blancs éliminant les microbes» d'autres de « macrophages phagocytant les bactéries opsonisées par les anticorps ».

On y trouve des documents abordant les mêmes concepts dans une épistémologie médicale, d'autres plus biologiques, certains emploieront un langage finaliste « le corps se souvient d'une première attaque et réagit plus fort contre le microbe à la deuxième fois » alors que d'autres emploieront un langage plus mécaniste « l'interaction des Lymphocytes Bmémoire avec l'antigène présent à la surface de la bactérie pathogène déclenche leur différenciation immédiate en plasmocyte produisant des anticorps en grande quantités sans nécessiter la double activation ». On y trouve des terminologies très différentes : certains parleront de Lymphocytes T8 d'autres de Lymphocytes tueurs, d'autres encore de TK et il n'est guère facile de déterminer si ces termes sont équivalents ou si leur sens se recouvrent incomplètement. On y trouve des sites militant contre les vaccins et des sites expliquant le mécanisme du vaccin.

Traditionnellement les documents présentés sont sélectionnés pour être adaptés au niveau des élèves. Par exemple les *Benchmarks* du Project 2061 (AAAS, 1993b) définissent pour chaque niveau scolaire des formulations d'un même concept. Le PER définit aussi parfois les termes qui doivent être employés pour expliquer un concept.

Certains des documents auxquels les élèves ont accès par internet sont normalement destinés à un public académique. Leur accès peut fournir des réponses à des questions qui ne sont pas habituellement traitées dans les ouvrages scolaires et que l'investigation a soulevées, voire permettre une compréhension plus approfondie des mécanismes sous-jacents.

Il faut relever que l'investigation ne conduit pas forcément vers les exemples classiques, les « monuments » (Chevallard, 2004), ces passages obligés de l'école. Elle peut par contre soulever des questions que nous proposons d'appeler « trous noirs » de l'éducation, celles que personne ne pose, mais qui sous-tendent des exemples classiques. Par exemple, pourquoi le fameux donneur universel pourrait donner son sang à tous alors qu'il contient des anticorps contre A et contre B. On ne trouve la réponse à cette question apparemment simple – et qui sous-tend l'asymétrie dans le concept de donneur universel – dans aucun ouvrage scolaire que nous avons pu consulter. Un ouvrage académique destiné aux étudiants de 3ème année de médecine (Janeway, et al., 2001) y répond. Sans prétendre que les élèves puissent lire en entier cet ouvrage, nous avons montré au cours de ce projet que les élèves peuvent comprendre la réponse qu'un tel ouvrage propose à une question qu'ils ont comprise et qu'ils veulent résoudre.

Cependant l'espace d'informations disponibles presque infini qu'internet procure – en contraste avec l'espace de savoirs habituellement bien délimité des ouvrages disponibles en classe – peut poser des problèmes lorsqu'un élève aurait développé des connaissances nettement plus avancées que l'enseignant, si celui-ci fonde son image professionnelle sur son autorité de savoir. Pour nous cela met en évidence l'importance du rôle d'autorité pédagogique de l'enseignant dans le dispositif et la vulnérabilité d'un rôle d'autorité du savoir face à des connaissances extraordinairement approfondies des élèves qui se seraient vraiment impliqués. Elle est un problème dans une vision transmissive du rôle de l'enseignant et peut être un affront à son autorité scientifique. Elle est un succès dans la perspective d'un rôle de tuteur visant l'autonomie des élèves et confirme l'autorité pédagogique qui a encadré ces apprentissages.

Ces réflexions fondent un élément de design ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant), ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, et ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène.

*Apprentissage exhaustif de documents prescrits ou stratégies de sélection et d'investigation ?*

Nous reviendrons sur la question de l'exhaustivité plus loin, mais voulons ici distinguer l'investigation par un élève qui cherche une réponse dans un ouvrage de l'apprentissage exhaustif de documents prescrits (ou de portions de ces documents). La seconde activité découle d'une posture enseignante – certainement très fréquente – qui propose des réponses, souvent de très grande qualité d'ailleurs, sans se soucier des problèmes dans lesquels ces réponses prennent du sens. Si l'on considère que la qualité et l'étendue des documents et extraits d'ouvrages fournis aux élèves reflètent ce que les élèves vont apprendre, une croyance très fréquente chez les enseignants, il en découle naturellement le contrat didactique implicite que les élèves doivent apprendre de manière exhaustive les portions d'ouvrages et documents indiqués. Les documents concernés sont alors vus comme l'expression de l'ensemble des savoirs visés et les ouvrages – forcément prescrits – sont des « polycopiés » de cours ou des manuels scolaires dont l'étendue manifeste les savoirs visés. La première posture enseignante délimite les savoirs à acquérir par un contrôle organisé des questions d'investigation et recourt plutôt à des ouvrages de référence qui couvrent un champ beaucoup plus large que ce qui est attendu de l'élève. Ainsi le choix de proposer aux élèves un manuel scolaire ou un ouvrage de référence n'est pas neutre sur le plan de ses effets éducatifs, il est lié à un modèle de l'apprentissage et à une posture enseignante.

### 2.1.16 **Ontologies des savoirs en biologie**

On appelle ontologie une description structurée des savoirs d'un domaine. En ingénierie pédagogique, on considère que les construire est une étape indispensable (Paquette, 2002b) pour élaborer des dispositifs d'enseignement.

Nous avons cherché les ontologies des savoirs biologiques qui existeraient déjà. Un premier examen de la littérature a montré qu'il ne semblait (au début de notre recherche) pas en exister pour les savoirs de référence concernés par les problématiques étudiées – mais aussi qu'il existe relativement peu d'ontologies de la biologie dans la littérature. C'est peut-être un constat surprenant pour une discipline qui s'est construite autour de la classification. Le terme d'ontologie est bien employé par les scientifiques en génomique notamment "*gene ontology*" pour le travail de standardisation des représentations de gènes, en définissant un vocabulaire contrôlé. Mais il ne s'agit pas des concepts qui font le savoir savant ou le savoir à enseigner.

Le catalogues de concepts scientifiques (Thouin, 2001), le *Biological Concept Framework* (BCF) au MIT, catalogue hiérarchique de concepts pour l'enseignement de la biologie (Khodor, Halme, & Walker, 2004), les programmes-cadres américains très détaillés par degrés et en termes d'objectifs les *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS, 1993a), révisés en 2009 (AAAS, 1993b) ne mentionnent aucune notion en rapport très explicite avec les problématiques 1 à 3 mais la problématique 4 y est plus explicitement mentionnée dans les derniers documents.

Récemment d'autres documents apparentés à des ontologies sont apparus aux Etats-Unis, notamment dans le cadre du *Project 2061*. On y trouve des objectifs déclinés par degrés (AAAS, 2006)[3], des répertoires de concepts structurants et conceptions obstacles qu'ils appellent « *misconceptions* » (AAAS, 2010)[4], ainsi qu'une analyse d'ouvrages de biologie incluant des cartes conceptuelles sur les thèmes principaux de la biologie « Key ideas in textbooks » (Roseman, Stern, Caldwell, & Kurth, 2011).[5]

---

[3] Benchmarks du AAAS http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php

[4] Assessment items and resources http://assessment.aaas.org/topics

[5] http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/summary/
Cell Structure and Function :
http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/summary/ca_csf.pdf
Matter and Energy Transformations :
http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/summary/ca_met.pdf
Molecular Basis of Heredity :
http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/summary/ca_mbh.pdf
Natural Selection and Evolution :
http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/summary/ca_nse.pdf

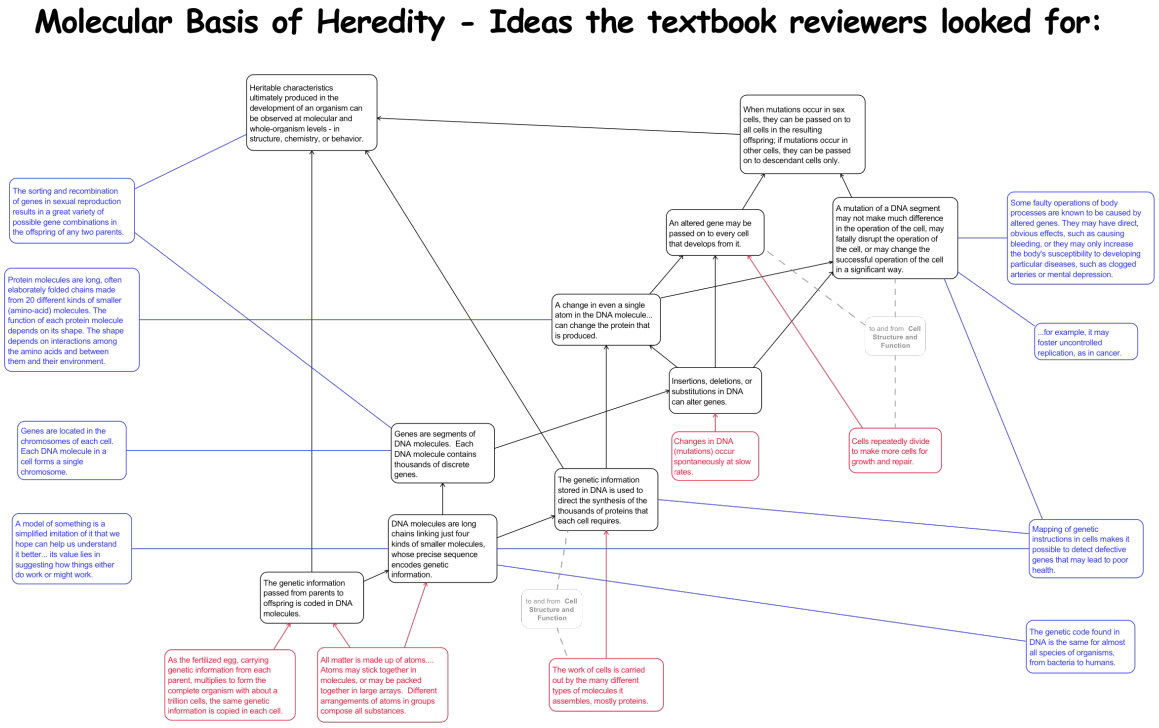



Figure 1 : Carte conceptuelle des bases moléculaire de l'hérédité dessinée par des experts du Project 2061 (Roseman, et al., 2011).

Le rapport britannique ETL (Enhancing Teaching-Learning Environments in Undergraduate Courses, Cf. Tableau 1) relève l'importance croissante de la bioinformatique – dans son sens génomique restreint – et l'importance de compétences générales parmi lesquelles on peut citer les compétences d'intelligence informationnelle de la 4ème problématique. Le rapport QAA en Grande Bretagne mentionne « *infomanagement* » (QAA, 2002).

| " *Pensée et pratique de la biologie* | |
|---|---|
| *A Compréhension fondamentale*<br>*A.1 Termes*<br>*A.2 Concepts et principes*<br>*A.3 Structures*<br>*A.4 Fonctions et processus*<br>*A.5 Systèmes et niveaux d'organisation* | *C Compréhension de haut niveau*<br>*C.1 Application à des problèmes réels*<br>*C.2 Compréhension synthétique et synoptique*<br>*C.3 Compréhension épistémologique* |
| *B Compétences fondamentales*<br>*B.1 Expérimentation et observations de terrain*<br>*B.2 Traitement et analyse de données*<br>*B.3 Communication*<br>*B.4 Lecture critique et compétences bibliographiques*<br>*B.5 Autorégulation de l'apprentissage et motivation*<br>*B.6 Travail de groupe en équipe* | *D: Compétences de haut niveau*<br>*D.1 Evaluation critique et interprétation des résultats*<br>*D.2 Ouverture au changement dans ses idées*<br>*D.3 Argumentation*<br>*D.4 Conception de plans expérimentaux et de projets de recherche*<br>*D.5 Réflexion/débat autour de connaissances non vérifiées ou contestées* |

Tableau 1 : Cadre de référence pour les objectifs des modèles d'enseignement. *Aspects of Ways of Thinking and Practicing in Biology* de (Hounsell & McCune, 2002 p. 15) Traduction personnelle.

Dans le rapport BIOCOMP du *Committee on Frontiers at the Interface of Computing and Biology* pour le *National Research Council* (NRC) (Wooley & Lin, 2005) aux Etats-Unis qui a

planché sur l'interface entre la biologie et l'informatique, nous avons identifié quatre rôles pour l'informatique en biologie : des outils computationnels, des modèles computationnels, une approche computationnelle, l'infrastructure informatique et les réseaux permettent la capitalisation, le partage et la gestion à distance de ressources énormes (NRC, 2003; Wooley & Lin, 2005).

Le rapport Bio2010 du NRC insiste sur les compétences numériques " *it is important that all students understand the growing relevance of quantitative science in addressing life-science questions.* " (NRC, 2003 p. 42-43). On y trouve un catalogue très détaillé et bien argumenté des compétences requises d'un chercheur en biomédecine. Cette restriction à la biomédecine qui ignore une grande part de la biologie ainsi que la centration sur la pratique de chercheur académique qui est implicite lui a été reprochée et doit être prises en compte pour mettre en perspective ce rapport (Bruce Alberts, 2003), mais l'analyse détaillée qui y est faite débouche sur des indications intéressantes en vue de la réflexion sur les savoirs et les manières d'enseigner une biologie qui évolue.

Nous retenons notamment l'importance d'une biologie numérique qui intègre les sciences de l'ingénieur. Par exemple, le rapport Bio2010 mentionne :

> *Central Concepts in Math and Computer Science: It is essential that biology undergraduates become quantitatively literate, studying the mathematical concepts of change, modeling, equilibria and stability, structure of a system, interactions among components, data and measurement, visualization, and algorithms. Every student should acquire the ability to analyze issues in these contexts in some depth, using analytical methods (e.g., pencil and paper) and appropriate computational tools. An appropriate course of study would include aspects of probability, statistics, discrete models, linear algebra, calculus and differential equations, modeling and programming.* (NRC, 2003 report brief, p.2)
>
> *Central Concepts in Engineering: The report recommends that life science majors be exposed to engineering principles.* (NRC, 2003 report brief, p.4)

Ces catalogues, inventaires de compétences et de concepts, sont une base précieuse et nous avons pu nous appuyer sur ces données pour établir une ontologie des savoirs en bioinformatique. Ces ébauches ont été utilisées dans des formations continues d'enseignants organisées avec Swiss-Prot – devenu Uniprot depuis. Elles ne sont pas assez abouties pour être présentées ici. Elles montrent cependant clairement que la bioinformatique et les traitements d'autres données biologiques ne sont pas un chapitre à part mais une coloration de tous les chapitres de la biologie.

Pourtant, nous avons vu plus haut qu'un biologiste passe en général plus de 50% de son temps dans des activités liées à ces problématiques 1 à 4 et que tous sans exception – en botanique, en écologie, en biologie marine, et aussi bien dans des services d'état que dans la recherche académique – ont mentionné combien leur activité a changé pour reposer de plus en plus sur les activités de traitement de données qui fondent les problématiques 1 à 4.

### 2.1.17 **Une saupoudrée de sociologie des sciences : changement de paradigme ?**

Si les sociologistes et les historiens des sciences sont encore en train d'analyser comment la biologie évolue, il y a des biologistes qui affirment ce changement fondamental à l'œuvre "*future biology cannot be built within the conceptual superstructure of the past. The old superstructure has to be replaced by a new one before the holistic problems of biology can emerge as biology's new mainstream and define its future goals"* (Woese, 2004 p. 173).

Pour les sociologues, une communauté fonctionne forcément dans le cadre d'un système de pensée basé sur des croyances partagées (Vinck, 1995).

Bien que l'approche historique et sociologique ne soit pas centrale dans cette étude, on n'échappera pas à une petite réflexion en termes de changement de paradigme et à quelques apports du plus célèbre – sinon le moins contesté – dans ce domaine, Thomas Kuhn.

Kuhn définit la science « normale » comme une communauté de praticiens produisant un corpus de réalisations qui sont la base des réalisations ultérieures, elles définissent un système de pensée pour aborder la recherche, les modèles et le genre de questions qui peuvent être posées ainsi que les manières de les résoudre. *"...Research firmly based upon one or more past scientific achievements, achievements that some particular scientific community acknowledges for a time as supplying the foundation for its further practice".* (Kuhn, 1972 p. 10)

Ces systèmes de pensée (paradigmes) sont nécessaires à la cohésion et à la définition d'une discipline. Ils aident à déterminer les domaines d'étude, les questions et les méthodes et un cadre dans lequel le sens se construit.

Le terme de changement de paradigme est galvaudé et souvent employé pour des évolutions très significatives des modèles employés par exemple, mais qui restent pourtant dans le paradigme courant en termes de fonctionnement des communautés, de cadre conceptuel, de questions traitées et de méthodes.

C'est qu'un paradigme est nécessaire – notamment pour donner un cadre et une direction à la recherche scientifique :

> *...No natural history can be interpreted in the absence of at least some implicit body of intertwined theoretical and methodological belief that permits selection, evaluation, and criticism (Kuhn, 1972 p. 10)*

Mais un paradigme n'est pas éternel. Pour cet auteur, la vie d'une science passe par trois phases. Une phase romantique – comparable pour le biologiste à l'explosion cambrienne – où on assiste à un foisonnement de recherches, d'approches et de regards nouveaux; on parle de l'émergence d'un nouveau paradigme qui apporte des réponses nouvelles à des questions anciennes. Suit une phase académique où se stabilise le cadre de recherche et finalement une révolution scientifique qui remet en question ce paradigme.

Ainsi le paradigme est à la fois nécessaire pour faire avancer de manière incrémentale la science, mais freine les changements importants. En effet, les chercheurs qui ont basé leur recherche sur un paradigme y adhèrent naturellement et contribuent forcément à le diffuser, parfois à l'imposer. Cela constitue une inertie au changement qui va freiner l'évolution et ralentit l'adoption d'un nouveau paradigme qui ne se fait qu'avec douleur : Kuhn parle de révolution.

Du point de vue éducatif, on peut souligner que ces croyances forment les fondations de l'initiation qui prépare et autorise l'étudiant à la pratique professionnelle *"educational initiation that prepares and licenses the student for professional practice"* (Kuhn, 1972 p. 21)

Ainsi un paradigme délimite et focalise une communauté de chercheurs :

> *A shared commitment to a paradigm ensures that its practitioners engage in the paradigmatic observations that its own paradigm can do most to explain. Paradigms help scientific communities to bound their discipline in that they help the scientist to create avenues of inquiry, formulate questions, select methods with which to examine questions, define areas of relevance and establish or create meaning.* (Kuhn, 1972 p. 13)

Il est intéressant de voir un parallèle au niveau de l'apprentissage individuel avec l'assimilation et l'accommodation des schèmes (Piaget, 1937) et au niveau évolutif avec les phases d'équilibres dans l'évolution et les phases de radiation explosive.

Nous observons que les cadres conceptuels auxquels se réfère la biologie sont de plus en plus ceux du traitement de l'information plutôt que des molécules, que les outils (BLAST,

alignements, géostatistiques, …) pour y répondre changent aussi, et que des questions différentes sont abordées (l'adéquation individuelle entre un médicament et un génome en pharmacogénomique, par exemple, ou chercher une fonction enzymatique dans un milieu propice indépendamment de l'espèce pour le séquençage d'une poignée de terre.)

Bien que les changements de la biologie discutés plus haut (bioinformatique et autres traitements de données) nous paraissent très importants et profonds, nous ne tenterons pas de démontrer qu'ils définissent un changement de paradigme au sens où Kuhn l'entend. Ce serait s'aventurer trop loin sur un terrain qui n'est pas le nôtre.

Pourtant cette brève analyse de la manière dont une science peut être vue comme une communauté de personnes partageant un système de pensée peut être fécond pour comprendre ce qui se passe dans la recherche et ses effets dans le contexte éducatif.

Puisqu'une science est définie et garde sa cohérence par cet ensemble de croyances partagées qui constitue en partie de ce que Kuhn appelle paradigme (Kuhn, 1972), la remise en question de ces paradigmes ne peut se faire facilement et lors d'un changement ; il faut s'attendre à ce que les individus les plus influents du paradigme courant soient très réticents à admettre qu'un nouveau paradigme émergence. Naturellement cette réflexion éclaire d'un jour assez prudent la question de la reconnaissance d'un changement de leur discipline par les biologistes actuels et suggère que la formation à leur transposition en classe se heurtera à des résistances venant du cœur même de la biologie. Nous avons pu fréquemment observer cette résistance. La création d'un master spécialisé en bioinformatique dans le programme des cours de la section de biologie de l'université de Genève, par exemple, surprend alors que la plupart des chercheurs disent combien leurs recherches sont transformées par ce que nous avons appelé BIST. Les exemples mentionnés plus haut de chercheurs considérant que la BIST qu'ils pratiquent plus de 50% du temps « n'est pas de la biologie » devient plus cohérent sous cette lumière sociologique. Vu comme la résistance d'un paradigme au changement, ces observations surprennent moins. Elles limitent fortement l'espoir d'un changement rapide. Joan Steitz, une des rédactrices du rapport Bio2010, dans un entretien dit qu'en publiant ce texte les auteurs du rapport s'attendaient à voir la plupart des universités réviser fondamentalement leurs curricula. Quelques années plus tard, elle n'a vu que quelques universités entreprendre une réforme, là où un individu passionné s'est investi, alors qu'ailleurs l'effet s'est résumé à un intérêt considérable et poli. Si de nombreuses universités semblent l'avoir pris en compte au moins un peu, on est loin de la profonde remise en question attendue.

Cet éclairage sociologique incite donc à se garder de trop vite prolonger cette recherche vers une militance qui paraît promise à une réception fraîche.

Nous avons aussi vu que les étudiants sont formés – introduits (intronisés dirions-nous presque) dans le paradigme courant (Kuhn, 1972) et que cela constitue une force d'inertie quand ces étudiants deviennent des enseignants. Il y a forcément un décalage entre un changement des pratiques de référence et l'arrivée d'enseignants familiers de ces pratiques. En effet, il faut attendre les 5 ans de leurs études universitaires, 2 ans de formation à l'enseignement – sept ans de délai – pour que des jeunes élèves formés à une nouvelle approche en biologie arrivent dans le métier. Il y a donc un retard incompressible entre les changements de la discipline et l'arrivée d'enseignants familiers avec ces changements dans les classes et que les élèves soient formés à la biologie actuelle. Dans le meilleur cas, des enseignants auront pu former des élèves jusqu'à la maturité dans un enseignement où la transposition des nouvelles pratiques aurait eu lieu une dizaine d'années après qu'elle soit devenue un nouveau paradigme ou intégrée au paradigme dominant.

Sans parler de l'inertie du groupe social que constituent les enseignants et dont les valeurs – notamment ce qui constitue de la biologie à enseigner ou non – s'imposent dès l'entrée dans le

métier (Vinck, 1995) et qui vont jouer un rôle important lors de la transposition didactique externe et interne, de l'effet limité d'enseignants juniors dans des équipes bien formées, et d'autres effets d'inertie institutionnelle. Notre ambition n'est donc pas de changer l'école pour y introduire le « nouveau paradigme BIST », mais de chercher des manières de penser la transposition de certains aspects sélectionnés de cette nouvelle biologie, de proposer des éléments de design fondés empiriquement et d'en discuter la portée.

# 3 Une définition pédagogique de la connaissance scientifique ?

Au cœur d'un design d'enseignement de la biologie, il y a forcément l'intention de développer des connaissances scientifiques. Nous allons donc tenter de construire une définition pédagogique de la connaissance scientifique qui puisse guider la réflexion sur la conception et l'analyse de designs. Nous puiserons dans différents champs des éléments pour construire une définition pédagogique sans prétendre la situer dans le plan de la psychologie, l'épistémologie ou la philosophie. Commençons par chercher ce qu'en disent les textes officiels.

Le Plan d'Etudes Romand 2011 (PER) définit les sciences ainsi :

> 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 autres, elle permet de repérer les changements du monde naturel dus à l'activité humaine et à prendre des décisions à ce propos. (CIIP, 2011, pp. commentaires généraux, page web)

Le PER 2011 propose également dans les visées prioritaires de très belles intentions pour le domaine des MSN (mathématiques et sciences de la nature) :

> Se représenter, problématiser et modéliser des situations et résoudre des problèmes en construisant et en mobilisant des notions, des concepts, des démarches et des raisonnements propres aux Mathématiques et aux Sciences de la nature dans les champs des phénomènes naturels et techniques, du vivant et de l'environnement, ainsi que des nombres et de l'espace. (CIIP, 2011, pp. commentaires généraux, page web)

Il y a naturellement de nombreuses manières de conceptualiser la science, souvent informulées chez les enseignants (Sandoval, 2003a) qui déterminent les priorités, la préparation, et la conduite en classe de son enseignement, nous allons nous appuyer sur une revue sommaire de la littérature pour décrire celle sur laquelle nous appuyons cette recherche. Nous avons d'abord cherché à déterminer ce qu'est la connaissance dans le contexte de l'éducation, puis ce qu'est la science, et ce qui différencie la connaissance scientifique. Cela nous permettra d'expliciter des caractéristiques qu'il serait souhaitable de développer lorsque les élèves acquièrent des connaissances en science, nous allons donc tenter une définition dans le plan pédagogique des *connaissances scientifiques* qui puisse éclairer la question de leur enseignement traitée plus loin.

### 3.1.1 **Distinguer les connaissances et les savoirs**

Nous n'avons pas l'ambition de sérieusement traiter les dimensions psychologiques, philosophiques et épistémologiques du concept de connaissance, mais nous y puiserons de quoi construire une définition *pédagogique* des connaissances et notamment des connaissances scientifiques qui puisse guider l'analyse et la conception de designs. Nous considérons que les connaissances sont ce que l'élève développe lors de l'apprentissage d'informations, à partir d'informations auxquelles on le confronte : elles sont personnelles. Alors que la langue anglaise ne les distingue pas, nous allons d'abord distinguer des *savoirs* qui ont un caractère public, reconnu, étiqueté dans la classe et des *connaissances* qui sont une construction individuelle.

> Le fonctionnement des connaissances est différent de celui des savoirs, aussi bien dans les rapports entre les institutions que dans l'activité isolée des sujets. Les « savoirs » sont

> les moyens sociaux et culturels d'identification, d'organisation, de validation et d'emploi des connaissances. La même notion comme connaissance et comme savoir n'a pas les mêmes propriétés, ni comme moyen de recherche, ni comme possibilité d'expressions, ni comme instrument de conviction ou comme argument et elle n'est pas apprise de la même manière. (Brousseau & Balacheff, 1997 p. 10)

Nous considérerons donc qu'apprendre est un processus qui permet à l'apprenant de transformer des *savoirs* validés et présents en classe, lus dans des livres, entendus de la bouche d'enseignants ou observés dans des expériences, issus d'actions effectuées par l'élève, voire des informations extrascolaires, pour en faire ses propres *connaissances* : l'individu connaît, la classe ou la société sait.

Il y a bien sûr la question – dont nous ne débattrons pas vraiment ici – des théories de l'apprentissage ; on n'envisage pas de la même manière les connaissances si l'on envisage plutôt de les faire naître chez l'élève ou plutôt de les lui transférer, si on pense que la construction est très individuelle ou que l'on peut induire des activités cognitives assez standardisées, etc.

Cependant dans cette recherche, il faudra bien définir ce qu'est une connaissance puis ce qu'une connaissance doit avoir pour être spécifiquement scientifique afin de concevoir, piloter et analyser des dispositifs qui visent le développement de telles connaissances.

Carl Bereiter commence par proposer une définition très pragmatique de *knowledge*[6] que nous prendrons comme traduction de connaissance : ce qui est mental et utile est une connaissance :

> *Don't worry about distinguishing knowledge from other kinds of competence. If it is mental and useful, call it knowledge.* (Bereiter, 2002 p. 53)

Si cette définition est remarquablement large et simple, elle ne distingue pas les connaissances (ni les savoirs, puis qu'il écrit en anglais) scientifiques des autres.

Une définition classique de la connaissance « croyance vraie justifiée » qui remonte à Socrate (Platon, 201 AJC) est l'ensemble des croyances qui sont aussi des vérités. Il convient de noter que le terme de croyance n'a pas ici la connotation péjorative qu'on lui donne dans le langage courant tout particulièrement chez les scientifiques. On peut remarquer aussi que dans cette définition la vérité n'est pas quantifiée, implicitement la connaissance est vraie par opposition à fausse. Nous retenons aussi de cette définition que la vérité d'une connaissance repose sur une justification. La définition ne dit rien sur la nature de cette justification. Nous discuterons plus loin que la science est une manière particulière de justifier.

On peut mettre en évidence – notamment dans le contexte éducatif – que de nombreuses connaissances sont étayées par référence à l'autorité. Pressé de justifier *sur la base de quoi* ils savent, bien des élèves répondront par référence à une autorité : « C'est le maître qui l'a dit». Une référence à un ouvrage « C'est écrit dans le Campbell ! » reste un argument d'autorité, mais est un peu plus proche des données et n'est pas directement validée par le maître, c'est une source d'autorité scientifique, mais plus authentique.

Pour Huberman, les bases de validation possibles sont, en allant du moins « scientifique » au plus « scientifique » :

> Intuition personnelle, vécu antérieur, intuitions et vécu d'autres personnes face à une situation analogue, traditions, normes, usages appliqués dans l'établissement, jugements des « responsables », basés sur plusieurs cas analogues, jugements des « experts », c'est-

---

[6] Le terme anglais de *knowledge* ne se traduit pas facilement, puisqu'il fait référence aux savoirs et aux connaissances. Nous l'utilisons pour contribuer à expliciter notre définition de la connaissance scientifique, et n'aborderons pas la question de la différence entre ces termes.

> à-dire de personnes possédant une connaissance approfondie du sujet, étude ou évaluation obtenues par voie « scientifique », données « scientifiques » obtenues à la suite de plusieurs études et analyses. (Huberman, 1986 p. 152)

Les élèves peuvent ainsi recourir à de nombreuses formes de justification des connaissances telles que le consensus social, par simple analogie ou par le sens commun (Astolfi, 2008), que nous n'explorerons pas, mais nous retenons que la *manière* de justifier distingue les connaissances. La connaissance est scientifique à cause des objets sur lesquels elle porte et des problématiques qu'elle aborde, mais tout particulièrement parce que celui qui la possède l'a validée selon des modes reconnus dans le paradigme courant. Nous considérons donc qu'une connaissance scientifique porte *en elle* la validation scientifique qui l'a justifiée. Ces modes seront discutés plus bas.

### 3.1.2 **Comment caractérisons-nous la connaissance scientifique ?**

Naturellement, l'éducation scientifique s'occupe de développer des connaissances scientifiques chez les élèves. Nous allons brièvement explorer des caractéristiques de la connaissance scientifique pour étayer une définition pédagogique et opérationnelle à laquelle nous nous référerons sans prétendre que notre définition dans le cadre de cette thèse soit inattaquable dans les champs psychologiques, épistémologique ou philosophiques.

Il y a pour Bereiter six sortes de connaissances (Bereiter, 2002) : les connaissances i) déclaratives qu'on peut énoncer ou écrire, sous forme de textes, de phrases, de graphiques de formules, ne sont qu'une partie des manières de connaître. Bereiter identifie aussi ii) les connaissances implicites qui sont probablement la majorité, iii) les connaissances épisodiques qui ont trait aux évènements de la vie et sont neurologiquement séparées des connaissances sémantiques (Schacter, 1999), iv) les connaissances impressionnistes que Bereiter décrit comme des sentiments et des impressions qui influencent nos décisions et qui évoquent les marqueurs somatiques de (Damasio & Blanc, 2001), v) les savoir-faire (*Skills*) qu'on peut traduire – à peu près – par compétences, et enfin vi) les connaissances régulatrices (métacognition).

Dans le contexte scolaire de l'enseignement de la biologie, on s'intéresse principalement aux connaissances déclaratives, implicites (parfois ; quand on prend les conceptions des élèves en compte notamment), aux compétences (beaucoup dans les intentions mais peu dans la réalité des plans d'étude et peut-être moins encore en classe) et – parfois – aux connaissances métacognitives. On retrouve ici l'idée que les connaissances sont à la fois un processus menant à un état connaissant et l'état résumant ce processus et permettant de le parcourir à nouveau.

### 3.1.3 **La connaissance se construit dans un cadre épistémique**

Les travaux en neurosciences – entre autres – confirment l'idée constructiviste qu'une connaissance ne peut pas exister indépendamment du reste de la cognition (Bransford, Brown, & Cocking, 2000 p. 64) comme une information dans un ordinateur où un numéro de carte de crédit peut parfaitement côtoyer une déclaration d'amour et une description du cycle de Krebs. Une connaissance humaine s'inscrit donc dans un ensemble de croyances qui a sa cohérence, sa structure et dont l'ensemble détermine comment une connaissance nouvelle peut être intégrée.

Nous distinguerons avec (Bromme, Pieschl, & Stahl, 2008) 3 niveaux de connaissance : cognitif, métacognitif (notamment la régulation des opérations cognitives) et épistémologique (comme les limites des connaissances, leur certitude, etc.).

Nous relevons ici que le terme de métacognition est polysémique et relève d'un vaste champ de recherche que nous n'aborderons pas. Deux sens principaux sont convoqués dans ce texte ; il se réfère plus haut à des connaissances de l'apprenant sur la régulation de ses apprentissages, ici il se réfère à la structure des connaissances qu'il possède : leur « épaisseur ». Dans ce texte, nous

distinguerons ces deux usages de métacognition en parlant d'épaisseur métacognitive et de régulation ou de stratégies d'apprentissage.

Pour certains (Hofer & Pintrich, 1997), quatre dimensions des connaissances déterminent les croyances épistémologiques : i) leur certitude, exprimant la stabilité et la solidité des données qui la fondent (*supporting evidence*), leur structure ou simplicité (l'étendue des liens qui relient cette connaissance), leur justification (la manière dont l'individu évalue et accepte les affirmations) et leur source (la localisation du savoir/connaissance : interne et/ou externe).

> *The most widely used framework within educational psychology (Buehl and Alexander 2001; Hofer and Pintrich 1997) comprises four identifiable and more or less interrelated dimensions of beliefs: The first two dimensions represent the 'nature of knowledge': (1) the certainty of knowledge is focused on the perceived stability and the strength of supporting evidence, and (2) the structure or simplicity of knowledge describes the relative connectedness of knowledge. The remaining two dimensions describe the 'nature of knowing': (3) the justification of knowledge explains how individuals proceed to evaluate and warrant knowledge claims, and (4) the source of knowledge describes where knowledge resides, internally and/or externally.* (Bromme, et al., 2008 p. 8)

Ainsi, la plupart des connaissances (déclaratives ou non, sémantiques ou non, ainsi que les compétences et les savoir-faire) sont un premier niveau que les connaissances de niveau métacognitif chapeautent et organisent, et les connaissances de niveau épistémique cadrent : le degré de certitude, les limites et la pertinence des connaissances.

Une connaissance est définie par un *processus* de validation, et les compétences qui permettent cette validation sont donc au moins potentiellement dans la connaissance (un *état* cognitif) qui en résulte ; si on connaît, on peut exprimer la justification qui fonde la connaissance. Ce que nous cherchons donc à développer chez les élèves et que nous nommerons connaissances intègrent aussi des procédures de validation potentielles que nous pouvons observer lorsqu'elles sont exprimées.

Selon Bromme, un des présupposés fondamentaux en psychologie de l'éducation est qu'il s'agit de faire évoluer les croyances épistémologiques « naïves » des apprenants vers des épistémologies sophistiquées : Croire que les connaissances consistent en un stock de faits reflétant précisément le monde, qui s'ajoutent en s'imbriquant, et dont la véracité est garantie par l'autorité d'une personne relève d'une épistémologie naïve. L'action éducative devrait les conduire à i) prendre conscience que la connaissance est complexe et relative au point de vue et dépendant du contexte, ii) croire que la justification d'une connaissance dépend du contexte et s'établit dans des interactions sociales, ou que le savoir reconnu dans un contexte donné est un réseau complexe de faits, théories et d'hypothèses relève d'épistémologies sophistiquées, iii) baser les connaissances sur l'incertitude et le fait que la vérité puisse changer, ou que les savoirs sont des constructions et non des donnés. (Bromme, et al., 2008)

On voit bien que les conceptions épistémologiques limitent et déterminent les connaissances qu'une même activité pourra développer. Bromme et al. l'illustrent très joliment dans le cadre de leur modèle avec un exemple : la consigne d'évaluer si l'empreinte à ADN est une technique adéquate pour des tests de paternité peut être perçu comme une question simple. Dans ce cadrage épistémologique, l'élève pourrait de bonne foi, sur la base d'un exemple où le test a confirmé la paternité, « étayer » une réponse simple : « Oui c'est adéquat ».

> *According to the COPES-model, epistemological beliefs should directly influence the standards that a learner sets and the operations s/he employs. In the following, consider an example from the knowledge domain we have used in our studies (i.e., DNA analysis or more colloquially 'genetic fingerprinting', an issue taught in high school biology). The example could illustrate why epistemological beliefs function as a lens for perceiving the*

> *learning task and thereby function as an apprehension structure for the learners' adaptation to the knowledge to be learnt: If a learner has the 'naïve' epistemological beliefs that knowledge in a specific domain is simple (e.g., consists of separate bits and pieces) and stable (e.g., well-proven and reliable), an objectively complex task in advanced biology such as "Evaluate the suitability of a certain method of 'genetic fingerprinting' for paternity testing." thus might be perceived simpler as it is. Such a learner might immediately conclude that a FIND operation is advocated, for example, "Find one positive case where this method has been used for paternity testing." and superficial learning standards are appropriate, for example, "This task has one definite right answer.". As such a learner uses these initial task interpretations as standards for further learning processes, such a learner would be satisfied with a short answer like "Yes, it is." and would not realize that deeper understanding is required. However, if a learner has the 'sophisticated' epistemological beliefs that knowledge in a specific domain is complex (e.g., consists of interrelated and inseparable pieces) and tentative (e.g., could be changed by scientific discovery), this learner might apprehend the task as much more complex. Such a learner might come to the conclusion that very deep cognitive operations are advocated, for example, 'integrate multiple information sources' and deep learning standards are appropriate, for example, "Solving this task should take some time", "This task does involve critical thinking", or "This task may not have a definite answer, even experts might disagree; therefore it is paramount to support all arguments with scientific evidence". As such a learner uses these initial task interpretations as standards for further learning processes, s/he would only be satisfied with giving a comprehensive and critical essay-like answer.* (Bromme, et al., 2008 p. 15)

Ainsi les croyances épistémologiques déterminent la compréhension des consignes, elles vont contraindre ce que l'apprenant pense faire de l'information qu'il reçoit, selon ses représentations de la source, selon comment il a compris la tâche attendue (Rouet, 2006). Bromme et al. le formulent en des termes proches : les croyances épistémologiques constituent une lentille déformante à travers laquelle les apprenants comprennent la tâche qui leur est proposée.

Les implications éducatives de cette lentille sont bien illustrées dans la tension entre l'exigence d'un langage précis et celui du développement d'une démarche d'investigation. Hutchison et Hammer parlent de « epistemic framing » et montrent comment le choix du langage et notamment une intolérance de l'erreur dans les termes employés lors de phases d'investigation peut conduire les élèves à se représenter la tâche attendue comme l'acquisition de termes « scientifiques » plutôt que de construire des explications des phénomènes naturels et bâtir des liens entre les concepts. Une insistance sur les termes peut casser la dynamique d'une activité féconde (Hutchison & Hammer, 2010) pour la faire retomber dans ce que (Lemke, 1990) appelle le *"classroom game*" : pour lui, les élèves jouent souvent en classe un « jeu » au sens théâtral, c'est-à-dire qu'ils cherchent à satisfaire les exigences formelles de l'enseignant au moindre effort. Nous y reviendrons plus bas.

> *When students frame what they are doing as a classroom game, they expect knowledge comes in the form of information—in physics that information is often a formula—provided by the instructor or textbook. They expect their role is to receive that knowledge and reproduce it appropriately. Knowledge is valuable if it "counts," and it counts if it matches the information the authority sanctions as correct.*
>
> *By contrast, when students frame what they are doing as making sense of some natural phenomenon, they select and assess knowledge differently. Knowledge may come from anywhere, and students' role is to produce it and to assess it, produce it from their experience or reasoning or schooling, assess it for whether it makes sense—whether it matches what else they believe and understand.* (Hutchison & Hammer, 2010 p. 510)

Cet exemple montre bien que les représentations de l'élève sur ce qu'il doit faire risquent souvent d'être différentes des intentions de l'enseignant (leur « buts » diffèrent de ses « objectifs »), mais aussi combien le cadrage épistémique est une lentille déformante à travers laquelle l'élève voit la tâche qu'on lui propose.

Nous retenons qu'une information donnée à l'apprenant devient, par le processus de validation qui lui est propre, une connaissance très différente selon le cadrage épistémique de l'apprenant et l'épaisseur métacognitive et épistémique qui en résulte peut être très hétérogène. On pourra donc parler de connaissance *plus* ou *moins* scientifique : il y a des degrés à l'épaisseur scientifique d'une connaissance et l'épaisseur maximale d'une connaissance entièrement scientifique est réservée aux chercheurs les plus pointus dans leur domaine. Dans l'éducation, développer des connaissances où l'élève est sevré de la validation par le maître, c'est-à-dire dont la validation est partiellement scientifique et l'épaisseur non nulle, est déjà un objectif ambitieux.

### 3.1.4 **La science s'articule autour de la modélisation**

Nous avons discuté plus haut que dans l'expérience, c'est la manipulation des concepts qui permet la (re)construction de la connaissance scientifique par chaque élève, les manipulations sont parfois nécessaires mais ne conduisent pas automatiquement à cette manipulation des concepts. Sous un autre angle, la science expérimentale peut aussi être décrite comme la modélisation du monde naturel (Giordan, 1991) et la démarche expérimentale comme des allers-retours entre le modèle et le « référent empirique » (Martinand, 1996), terme que nous emploierons pour éviter le débat philosophique sur la réalité du monde qui nous entoure, le monde « I » de Popper. Notre ambition est d'expliciter une définition pédagogique de la connaissance scientifique qui puisse guider le développement de designs pédagogiques et non de la situer dans le plan de la psychologie, de l'épistémologie ou de la philosophie.

Il n'y a donc pas de compréhension sans modèle. Les modèles peuvent être descriptifs (plante à feuilles alternes) et permettre de réduire la complexité pour l'appréhender, ce sont les plus fréquents dans la biologie naturaliste et descriptive. Ils peuvent être explicatifs (les lymphocytes B se multiplient et deviennent des plasmocytes) et proposer des liens de causalités permettant de comprendre les observations. Ils peuvent être prédictifs (un feed-back négatif sur l'insuline régule la glycémie) et fournir un système de liens permettant de prédire l'état d'un système en fonction de paramètres identifiés. Un modèle est conçu pour correspondre à un problème et répond à une question : un bon modèle (explicatif) pour étudier les flux sanguins n'est probablement pas un bon modèle (descriptif) pour l'anatomie du système circulatoire. L'un schématisera les structures anatomiques (et réduira l'ensemble des viscères à une artère, quelques capillaire et une veine) pour mettre en évidence la double circulation, l'autre développera tous les vaisseaux dont la complexité masquera le double passage à travers le cœur pour une circulation complète.

Nous avons vu que la question centrale dans le paradigme de la biologie actuelle est « quels sont les mécanismes sous-jacents » : elle renvoie à la formation d'un modèle descriptif et si possible prédictif. Il décrit les relations entre les différentes observations pour prédire le comportement du système étudié dans des limites de validité. Le modèle précède donc la question qui précède l'observation. Accompagner l'élève vers de bonnes questions doit donc être un processus qui l'aide à comprendre le problème et à se faire un modèle des phénomènes à étudier.

> Pour apporter une observation de quelque valeur ... Il faut avoir décidé ce qui est possible, grâce à une certaine idée de ce que peut bien être la réalité, grâce à l'invention d'un monde possible. (Jacob, 1981) in (Astolfi, 2008 p.126)

Cependant de très nombreuses illustrations, schémas, maquettes, squelettes et même les spécimens sélectionnés sont des modèles dont les enseignants n'ont pas toujours conscience (Giordan, 1991) et qu'ils risquent de présenter comme *la réalité.*

> … Un enseignement dogmatique où les modèles sont présentés comme des évidences non questionnées, non rattachées à des problèmes, […], incitent à réfléchir sur la manière dont on pourrait enseigner et faire apprendre la modélisation, c'est-à-dire la construction, l'adaptation, l'utilisation des modèles. (Martinand, 1996 p.1)

La question n'est plus : « quel bon modèle enseigner ? », mais plutôt « comment développer chez les élèves les trois caractéristiques essentielles des modèles » : i) ils sont hypothétiques, ii) ils sont modifiables iii) ils sont pertinents pour certains problèmes dans certains contextes ? » (Martinand, 1996 p.1)

Dans ce même texte, J.-L. Martinand décrit les relations entre trois niveaux (matrice cognitive, élaboration représentative, et référent empirique) qui conduisent à la formation et l'utilisation d'un modèle. Cf. Figure 2.

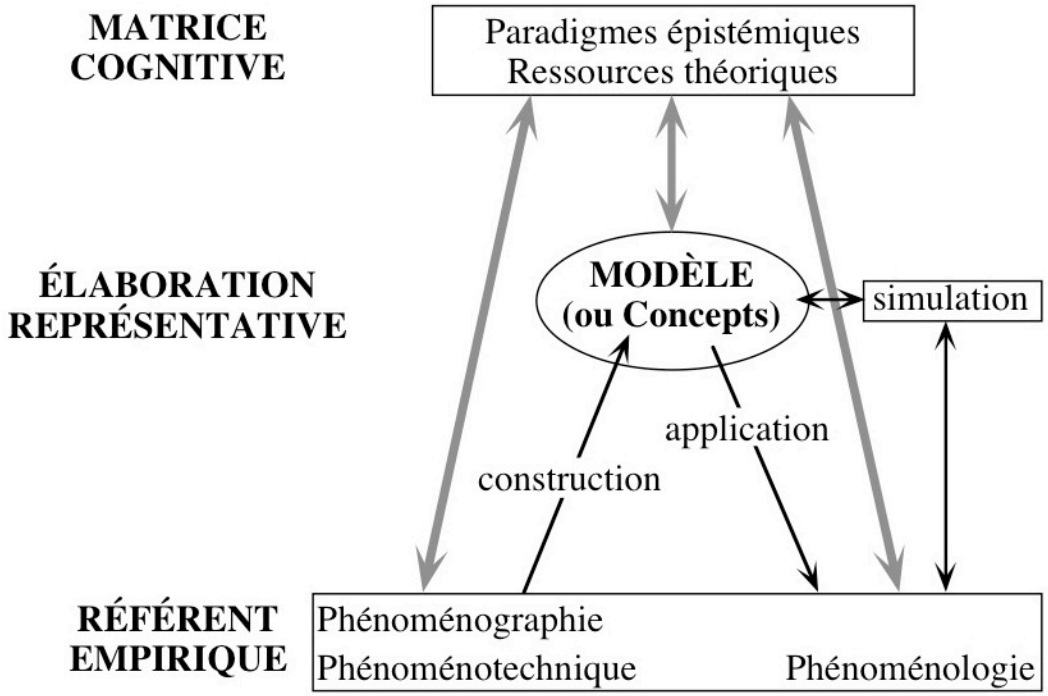



Figure 2 : Schéma des relations qui conduisent à la formation et l'utilisation d'un modèle (Martinand, 1996).

On peut y distinguer – entre autres – des moments de construction d'un modèle – la *modélisation* – où le modèle permet à l'élève de faire des allers-retours entre le référent et les paradigmes qui sous-tendent la réflexion, ceci dans le but de construire ou d'optimiser le modèle qu'il est en train de construire.

C'est d'autant plus pertinent avec la biologie actuelle que les modèles sont intégrés de plus en plus profondément dans des artefacts technologiques qui donnent des résultats incontestables en apparence.

Un séquenceur, un logiciel procurant un service BLAST, fournissent un résultat qui paraît définitif, et leur usage n'implique pas forcément les allers-retours entre le modèle et le référent qui servent à construire ou optimiser le modèle que l'élève construit, la « phénoménographie », qui n'est pas sans rappeler le processus de genèse instrumentale (Bachelard, 1947).

Notons bien qu'une donnée issue d'un tel artefact technologique n'a de sens – n'est une connaissance scientifique – que par rapport à des hypothèses issues d'un modèle et dans les limites de ce modèle.

Dans un autre temps (*phénoménologie* pour Martinand), l'application du modèle (l'usage de l'instrument au sens Rabardel) ne remet pas en question le modèle mais l'emploie pour prédire le comportement du système étudié.

Il faut noter que nous parlons des modèles mentaux que les élèves développent qui ne sont pas forcément ceux présentés en classe.

Ainsi, afin de pouvoir efficacement utiliser le modèle pour prédire, les élèves devraient être amenés à développer les trois caractéristiques (hypothétiques, modifiables, pertinence limitée) de leurs modèles. On retrouve les caractéristiques des connaissances scientifiques déjà relevées : mise en perspective en référence aux hypothèses et incertitudes que nous retenons particulièrement.

### 3.1.5 **Les connaissances et la conception de l'esprit**

La notion de connaissance elle-même a des acceptions différentes selon les théories dont elles sont issues et déterminent des choix éducatifs et d'ingénierie pédagogique nettement différents. Nous n'allons pas faire le débat des liens entre les théories de la connaissance et les pédagogies, mais présenter quelques éléments pour expliciter notre position qui fonde la conception et l'analyse des dispositifs dans ce projet.

La logique des connaissances comme des items séparés, une vision des connaissances comme des objets identifiés – une ontologie unitaire – n'est pas satisfaisante pour certains chercheurs :

> *The tacit, default stance, as Greeno (1997) identified, is to think of the knowledge or ability as a thing that an individual acquires in one context and may or may not bring to another. We describe this as a unitary ontology (Hammer, 2004b), thinking of the particular piece of knowledge as an intact cognitive unit, in close correspondence with the observable idea or behavior, be it a principle, fact, or procedure. For instance, much of the conceptual change literature is consistent with a unitary ontology; researchers generally think of student (mis) conceptions as robust, intact elements of cognitive structure. However, the cognitive objects we attribute to minds need not align closely with the ideas and behaviors we hope students to transfer: Ontology need not recapitulate phenomenology!* (Hammer, Elby, Scherr, & Redish, 2005 p. 4)

Dans cette vision connexionniste, le transfert n'est pas tellement le fait d'accéder à une connaissance mais plutôt d'activer, de « convoquer » des ressources qui sont liée à des états d'un système mental.

> *In this way, a resources framework provides a mechanism by which elements of an individual's mind interact with elements of the social and physical environment to create knowledge that's situated or even distributed. In a resources-based framework, we can view learning an idea not as the acquisition or formation of a cognitive object, but rather as a cognitive state the learner enters or forms at the moment, involving the activation of multiple resources." Transfer" would then be understood in terms of the learner entering or forming a similar state later in a different context. In other words, rather than conceiving a unit of knowledge as transferring (moving) intact from one context to another, this view of mind centers on activation as the central theoretical construct. […] A crucial aspect of [the learner's] learning was gaining knowledge about cognitive resources she already had — i.e., knowledge about her knowledge. In this way, a resources-based framework and the notion of activation provide a language for analyzing [the learner's] cognition without needing to define whether "transfer" plays a role.* (Hammer, et al., 2005 p. 5)

Pour Bereiter également, la connaissance ne peut plus être vue comme des objets mentaux distincts qu'on range dans une armoire (Bereiter, 2002). Si on a pu pendant longtemps

fonctionner avec une conception naïve de l'esprit (*folk theory of mind*) où les connaissances seraient des entités distinctes localisées dans un esprit donné, ce modèle marque ses limites lorsqu'on aborde l'apprentissage, le développement de communautés d'apprentissage dans une société de la connaissance.

> *The idea of knowledge as the contents of a mental filing cabinet is, I believe, the most stultifying conception in educational thought has been shared by all the major combatants in the educational debates of this century. There are traditionalists who want to make sure the filing cabinet is filled and with the right things, there are child-centred and "constructivist" educators who insist the contents of the filing cabinet should be the result of the child's own inquiries, and there are the thinking skills enthusiasts who want to ignore the mental filing cabinet (whose contents they believe to be rapidly obsolescent) and to focus on developing skills in accessing various external filing cabinets and applying their contents. There is merit in all these positions, but they appear unreconciliable. Moreover, they all undervalue knowledge as it figures in a knowledge-based economy and in the careers of experts."* (Bereiter, 2002 p. 24)

Il renvoie dos à dos les pédagogies traditionnalistes, « centrées sur l'élève » et constructivistes parce qu'elles ne prennent pas bien en compte la connaissance qui est pertinente pour les experts et dans une économie « *knowledge-based* » :

> *The alternative approach that I develop centers around the idea of conceptual artifacts, which are human constructions like other artifacts, except they are immaterial and, instead of serving purposes such as cutting, lifting, and inscribing, they serve purposes such as explaining and predicting. These conceptual artifacts, in turn, become part of the vast array of things we can become knowledgeable about* (Bereiter, 2002 p. 58)

Il propose d'aborder la construction de connaissances en la bâtissant autour d'artefacts conceptuels qui sont semblables à des artefacts matériels qui servent à couper ou à soulever mais qui servent à expliquer ou à prédire.

Finalement, il propose une définition opérationnelle des connaissances en rapport avec leur usage :

> *Understanding implies abilities and dispositions with respect to an object of knowledge sufficient to support intelligent behavior.* (Bereiter, 2002 p. 101)

Nous considérons ici que la connaissance est un processus individuel de reconstruction. Mais le même terme de connaissance est utilisé pour les états cognitifs qui résultent de ces processus de validation : celui qui connaît scientifiquement a réalisé ce processus et la connaissance le contient, potentiellement explicitable. Nous assumons cette confusion car le résultat contient le processus.

Pour résumer ce que nous retenons en vue de notre définition, nous considérons que de voir la connaissance comme des items séparés correspond à une épistémologie naïve inconciliable avec la connaissance scientifique, que la connaissance est forcément contextualisée (elle se construit mais existe par des relations formant un réseau sémantique avec d'autres connaissances), qu'elle se construit par les confrontations avec d'autres personnes autour d'artefacts conceptuels et qu'elle se manifeste par des actions possibles.

### 3.1.6 **Les connaissances préalables peuvent être un obstacle**

Figure 3: Ce qu'un poisson pourrait imaginer quand une grenouille lui raconte le monde terrestre (Lionni, 1974).

Les connaissances nouvelles se construisent sur et dans le cadre de ce que l'apprenant connaît déjà. La manière dont les savoirs sont réinterprétés pour devenir des connaissances très personnelles chez les élèves est fort joliment illustrée dans un ouvrage pour enfants (Lionni, 1974). L'auteur y décrit un poisson à qui une grenouille raconte le monde hors de l'eau : le poisson s'imagine les êtres terrestres en fonction de ce qu'il connaît et imagine les oiseaux comme des poissons avec des ailes, les vaches comme des poissons à pattes et à cornes (cf. Figure 3).

Plutôt que la dérision de la naïveté du poisson, nous y voyons une illustration des mécanismes avec lesquels l'esprit humain apprend – notamment les sciences naturelles. Cette réinterprétation des observations du monde à la lumière de ses conceptions préalables prend tout son sens dans un cadre conceptuel constructiviste. Piaget a montré comment l'apprentissage est une recherche d'équilibre ; les sollicitations du monde externe – notamment celles produites par les activités d'enseignement – produisent des déséquilibres qui déclenchent le plus souvent l'assimilation dans les schèmes de l'apprenant, mais les perturbations difficiles à assimiler mènent à une accommodation, une modification des schèmes.

La perspective évolutive dans laquelle le biologiste Piaget situe sa réflexion mène naturellement à l'idée d'économie : l'apprenant préfère assimiler dans ses schèmes que bousculer son organisation mentale en accommodant. Le poisson de Lionni préfère assimiler les informations sur le monde hors de l'eau à sa compréhension du monde qu'accommoder en remettant en question toute son organisation mentale. L'erreur résulte ici, plutôt que de lacunes, de l'existence de connaissances préalables sur le monde et de la capacité de l'apprenant à y intégrer les nouvelles informations. La difficulté de l'apprentissage est que ce mécanisme fonctionne trop bien : ce que le poisson imagine est cohérent et ne lui pose pas de problème. Susciter l'apprentissage ne passe donc pas toujours par la facilitation, mais parfois par une déstabilisation de l'apprenant notamment en obligeant à voir ce qui dérange. Nous parlerons plus loin d'étayage stimulant.

Un des concepts les plus féconds dans ce champ de recherche nous paraît être celui d'obstacle épistémologique de Bachelard : les vrais obstacles à l'apprentissage sont intérieurs et épistémologiques, ce qu'on croit et qui est bien intégré à son système de pensée. C'est la puissance explicative trop grande des conceptions préalables – la trop grande « vérité », pour

l'apprenant – qui fait obstacle, plutôt que l'erreur de ces conceptions. Ces conceptions lui paraissent plus acceptables (ce sont des croyances justifiées pour lui) que celles proposées par l'enseignant, qui, justement parce qu'elles « dépassent le sens commun » comme le disait Astolfi, heurtent et sont rejetées. « Face au réel, ce qu'on croit savoir clairement offusque ce qu'on devrait savoir. 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. Accéder à la science, c'est spirituellement rajeunir, c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire un passé. […]il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne. » (Bachelard, 1947 p 16). Pour lui, les représentations sont fondées sur les modalités d'organisation et d'interprétation préscientifiques du réel, des intuitions familières, les infrastructures de la connaissance commune (la perception et ses schèmes, le langage et ses articulations, l'imaginaire et ses valeurs. (Bachelard, 1947)

Il en résulte un changement de perspective très important dans l'éducation : au lieu d'imaginer des dispositifs pour éradiquer des erreurs, on va susciter et accompagner le changement conceptuel.

Une abondante littérature développe la question du changement conceptuel, et la didactique de la biologie a tout particulièrement été marquée par les très abondantes recherches d'André Giordan (Giordan, 1987, 1991, 1994, 1995, 1996, 1998; Giordan & De Vecchi, 1987, 1996; Giordan, Guichard, & Guichard, 1997; Giordan & Platteaux, 1996).

Ces travaux mettent en évidence combien les conceptions sont résistantes (c'est-à-dire qu'elles résistent à l'apprentissage), persistantes (c'est-à-dire qu'elles persistent après l'apprentissage superficiel et qu'elles réapparaissent), qu'elles sont transversales (s'enracinent dans une compréhension du monde qui dépasse la discipline comme l'expérience immédiate, l'animisme qui attribue au objets des intentions ou plaque celle de l'apprenant (utilité), la généralisation hâtive, etc.) et qu'elles sont des freins à l'apprentissage (Orange Ravachol & Schneeberger, 2008).

Il serait hors du cadre de ce texte de faire le tour d'une question aussi cruciale, nous référant à de très nombreux auteurs (AAAS, 2010; Bachelard, 1947; Duit, 2007; Giordan, 1989; Giordan & De Vecchi, 1987; Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982; Tanner & Allen, 2005; Treagust & Duit; Vosniadou, 1994; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994), nous nous inspirerons largement d'une synthèse de (Tanner & Allen, 2005) pour résumer notre position dans cette recherche sur la question des conceptions préalables des élèves.

Selon ces auteurs, les apprenants arrivent à l'éducation formelle, munis de conceptions préalables concernant les objets et les phénomènes naturels, elles sont résistantes aux stratégies classiques d'enseignement et réapparaissent souvent après que l'élève a pu fournir une production satisfaisante aux examens. Les conceptions des élèves prennent leur source dans le vécu personnel, l'observation, la culture et le milieu social, voire le langage ou les pairs, ainsi que les explications et documents des enseignants. Les conceptions des apprenants sont souvent similaires à celles que les philosophes ou scientifiques du passé ont défendues. Les enseignants commencent souvent par souscrire aux mêmes conceptions que leurs élèves.

Une approche par le changement conceptuel (Posner, et al., 1982) sous-tend de nombreuses interventions pédagogiques. Ce modèle suggère qu'il faut d'abord que les apprenants soient insatisfaits de leur conception actuelle, puis considèrent qu'une nouvelle conception est intelligible, plausible et féconde ; alors le changement conceptuel peut avoir lieu.

Nous pensons en outre que le constat qu'il existe des conceptions diverses auprès des pairs fissure les certitudes et constitue une première phase alors qu'un consensus sur des conceptions rend difficile la remise en question de ses conceptions. C'est peut-être ce qui explique la relative

facilité à développer le modèle de la génétique mendélienne, alors que la sélection naturelle comme mécanisme de l'évolution reste très difficile.

En effet, la mise en défaut du modèle personnel ne conduit pas forcément à un modèle de consensus qui serait proposé :

> *We conclude that there are eight possible responses to anomalous data: (a) ignoring the data, (b) rejecting the data, (c) professing uncertainty about the validity of the data, (d) excluding the data from the domain of the current theory, (e) holding the data in abeyance, (f) reinterpreting the data, (g) accepting the data and making peripheral changes to the current theory, and (h) accepting the data and changing theories.* (Chinn & Brewer, 1998 p. 623)

Nous notons que le processus de validation de ses connaissances par l'élève est manifeste, que cette validation de la connaissance ne se fait pas forcément par les processus de la validation scientifique et ne découle pas d'une simple présentation du modèle que le maître propose.

Nous pensons également que c'est en particulier la puissance explicative constatée par les élèves sur des phénomènes pertinents qui est décisive pour la dernière phase du changement conceptuel.

Des travaux récents – notamment en IRMf (Imagerie par Résonnance Magnétique fonctionnelle) (Masson, Potvin, & Riopel, 2009), mais aussi en psychologie expérimentale classique (Shtulman & Valcarcel, 2012) – suggèrent que les conceptions préalables ne sont pas remplacées par les nouvelles, mais qu'elles coexistent avec les anciennes, même chez les experts. D'autres chercheurs suggèrent que « les explications (conceptions) seraient plutôt construites « sur commande » et « au besoin» lorsqu'elles sont sollicitées » (Potvin & Thouin, 2003) pour expliquer les observations et résoudre des conflits cognitifs. Ils n'hésitent pas à remettre en question le paradigme du changement conceptuel. Cela pourrait influencer les stratégies pédagogiques puisqu'au lieu de chercher à transformer les conceptions naïves on accepterait qu'elles continueront à exister et on chercherait à développer les manières de convoquer les conceptions appropriées à un contexte donné. Aider l'élève à convoquer les bonnes ressources dans le bon contexte est une approche déjà développée depuis un certain temps, notamment en physique (Hammer, et al., 2005). Sans prendre position dans un débat qui commence, disons que nous avons de l'affinité avec la position de Potvin et Thouin. Nous allons maintenant nous tourner vers la place du débat dans la construction de connaissances scientifiques.

### 3.1.7 **La connaissance scientifique se construit dans le débat ?**

Nous avons vu que la connaissance est classiquement définie par le fait qu'elle est justifiée[7]. Il nous paraît que pour celui qui connaît, elle l'est probablement toujours mais nous considérons ici que ce qui différencie les formes de connaissance est la manière dont elles sont validées et que le processus de validation scientifique définit une façon particulière de connaître.

Une définition de l'activité scientifique nous guidera vers une définition de la connaissance scientifique. Nous avons vu que la science (expérimentale) repose naturellement sur l'observation, elle ne se réduit pas aux manipulations qui permettent de produire les données et l'observation. Dans le paradigme actuel de la biologie (Morange, 2003), la question centrale est celle des mécanismes « Comment ça fonctionne ? ». Ainsi de simples descriptions, même élaborées, sont rarement suffisantes pour publier et en général il faut proposer une explication des mécanismes sous-jacents.

Astolfi voit la connaissance disciplinaire comme une sorte de télescope qui permet aux élèves de porter un regard *au-delà du sens commun*.

---

[7] La définition de « croyance vraie justifiée » est en général attribuée à Socrate.

> Elle rend saillantes certaines caractéristiques du réel qui échappent au sens commun. L'expert est celui qui, dans une situation donnée, « voit» ce qui échappe aux autres, grâce aux ressources de ses concepts bien davantage qu'à la précision de ses sens. C'est pourquoi Yves Chevallard peut justement décrire les savoirs comme étant des « bottes de sept lieues ». À côté de la connaissance ordinaire, souvent suffisante pour répondre aux besoins pragmatiques de l'action quotidienne, les disciplines développent ainsi des savoirs proprement « extra-ordinaires ». (Astolfi, 2008 p. 15)

Cela justifie bien l'importance de développer les connaissances des élèves à partir des savoirs disciplinaires, mais ne donne pas vraiment des critères pour distinguer la connaissance scientifique d'autres connaissances « extra-ordinaires ».

> *[…] Science as a process of building theories and models using evidence, checking them for internal consistency and coherence, and testing them empirically. Discussions of scientific methodology should be introduced in the context of pursuing specific questions and issues rather than as templates or invariant recipes.* (Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007 Executive summary p. 5)

D'une certaine manière, la recherche scientifique se définit par la publication dans des revues académiques.

Ainsi, ce qu'on appelle des « faits » scientifiques sont simplement des interprétations qu'on ne remet plus en question, souvent parce qu'on a oublié (individuellement et collectivement) comment ils ont été construits. (Latour & Gille, 2001)

On sait que les publications ne sont pas un compte-rendu d'une recherche mais une réécriture selon un genre littéraire standardisé défendant les idées proposées, de fait elles sont une forme d'argumentation.

> *« The goal of science is to produce new knowledge of the natural world. Two practices essential to achieving this objective are argument and critique. Whether it is new theories, novel ways of collecting data, or fresh interpretations of old data, argumentation is the means that scientists use to make their case for new ideas. In response, other scientists attempt to identify weaknesses and limitations; this process happens informally in laboratory meetings and symposia and formally in peer review. Over time, ideas that survive critical examination attain consensual acceptance within the community, and by discourse and argument, science maintains its objectivity. Critique is not, therefore, some peripheral feature of science, but rather it is core to its practice, and without argument and evaluation, the construction of reliable knowledge would be impossible. Whether it is the theoretician who is developing new models of phenomena or the experimentalist who is proposing new ways of collecting data, all scientists must subject their ideas to the scrutiny of their peers.* (Osborne, 2010 p.463-464)

Le processus de la science construit la validation des savoirs par l'observation et l'expérimentation, mais surtout par l'argumentation et le débat. Ainsi une connaissance (chez l'individu qui la porte) est scientifique dans la mesure où elle a été confrontée à la communauté et éprouvée en osant l'exposer : bien que forcément personnelle dans son résultat, la connaissance scientifique est éprouvée par un processus social de validation avec les pairs.

Ainsi la connaissance scientifique à laquelle nous nous référons résulte d'une manière spécifique par laquelle celui qui connaît valide (Sandoval & Morrison, 2000) ses connaissances : basée sur les données qui les fondent, leur structure et leur confrontation avec les autres explications possibles. Il ne suffit donc pas d'avoir des données ou de recevoir des savoirs pour qu'une connaissance soit scientifique.

On peut dire d'une connaissance qu'elle est scientifique non pas parce qu'elle porte sur certains objets (des animaux, des écosystèmes, des voies biochimiques ou des séquences d'ADN) mais parce que sa justification fait référence aux données qui la fondent, ainsi qu'aux hypothèses et aux théories dans lesquelles elle s'inscrit, à sa source, et à son degré de certitude. Ces attributs sont les caractéristiques métacognitives de ce savoir (Bromme, et al., 2008) qui constituent en somme sa structure, nous dirons son épaisseur. Une épaisseur – même modeste – est déjà un objectif ambitieux dans l'éducation.

La « cellule argumentative » (Toulmin, 1958) (cf. Figure 4) explicite ces liens logiques qui étayent une affirmation en science.

Les données : l'impossible traduction de « *evidence*[8] » en anglais donne ici *éléments de preuve* conduisent par un raisonnement logique à une conclusion : c'est la justification. La justification est déterminée par des modalités qui déterminent les conditions de validité de la conclusion.

Cette justification repose sur des hypothèses qui existent dans un cadre théorique : ce sont les fondements. L'examen critique des fondements et des conditions de mesure des données déterminent les limites de la justification : ce sont les restrictions et exceptions.

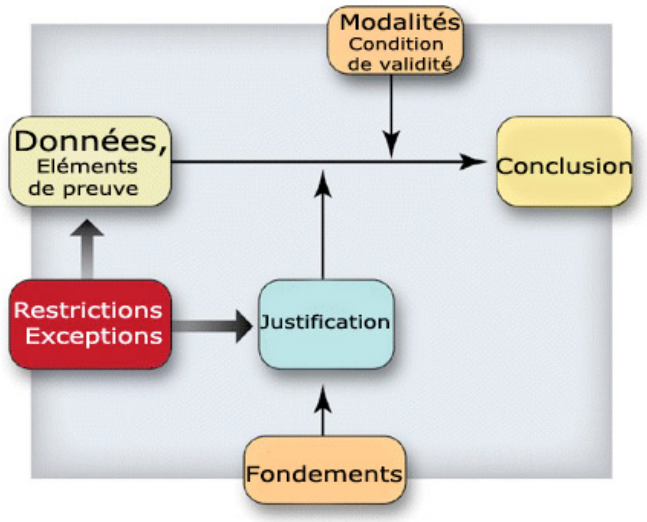



Figure 4 : La cellule argumentative de Toulmin. Modifié d'après (Osborne, 2010) Traduction personnelle.

On peut alors dire qu'une connaissance est scientifique si – ou plutôt dans la mesure où – les liens entre les données et l'affirmation sont étayées par un raisonnement critique et faisant référence explicitement au cadre dans lequel il s'inscrit.

Nous retenons que la science est une forme de débat, une forme d'argumentation particulière. Faire de la science est donc affaire d'argumentation et non de vérité.

Notons en particulier que le degré de certitude ne peut jamais être de 100% : toute affirmation scientifique est une vérité temporaire dont le degré de certitude est déterminé par la solidité des liens logiques avec les données qui la fondent. Elles est temporaire parce que sujette à l'apparition de nouvelles données ou de nouvelles interprétations.

---

[8] Nous utiliserons le terme *d'indice* pour les éléments de preuve dans l'analyse des résultats et la conclusion. Ce terme a cependant une signification d'agrégat d'indicateurs en sciences sociales.

Richard Feynmann dit de manière incisive que « ce qui n'est pas entouré d'incertitudes ne peut pas être la vérité » *in* (Postel Vinay 2006 p. 92). On est loin de l'expression commune où « scientifiquement prouvé » définirait un savoir de certitude absolue.

Nous avons pu développer notre position à propos de la vérité scientifique ailleurs (Chevallard, 1999) nous en reprenons ici l'essentiel.

*Première posture : la vérité est dans le réel*

Dans cette posture que nous qualifierons de science naïve, on recherche la vérité de l'observation. On pense que le monde réel est ce qu'on observe et qu'un examen attentif et sans préjugés révèlera à l'observateur objectif la vérité. Il en résulte un rapport à la véracité de l'image qui attend une objectivité absolue et ne tolère pas les transformations. Si la vérité est dans le réel, il suffit d'observer *soigneusement* pour voir la vérité et modifier le réel c'est de la fraude.

*Deuxième posture : la vérité existe dans le réel, l'école la vulgarise*

Dans cette posture que nous qualifierons d'enseignement naïf, l'idée qu'il existe une vérité de l'observation n'est pas remise en question, on admet qu'elle est inévitablement vulgarisée pour la rendre accessible, pour que les élèves comprennent. C'est dans ce sens qu'est compris le processus de la transposition didactique dans cette posture que nous qualifions de transmissive.

*Troisième posture : la vérité est le produit de la science*

Dans cette posture que nous qualifierons de citoyen naïf, on va chercher une vérité scientifique, qui soit objective et intangible, qui soit la Vérité avec un grand V, au-dessus de tout soupçon.

Malgré une désaffection des filières scientifiques, la confiance dans la science n'a pas vraiment baissé dans le public et même chez les jeunes : on croit facilement qu'il existe une « vérité scientifique ». En effet, la recherche a montré que l'image de la science reste positive et ne baisse guère (Venturini, 2007 p. 96). Par exemple, 89% des jeunes sont en accord avec l'affirmation que "Les chercheurs travaillent pour le bien de l'humanité" (Postel Vinay, 2002) in (Venturini, 2007 p. 95). De manière générale, l'idée que la science produirait des Vérités est encore très répandue.

Ici aussi, modifier la vérité scientifique est une fraude. L'espoir que la science produise des Vérités mène forcément à des désillusions et à une remise en question de la science.

Avec une certaine ironie, on peut voir des militants de l'environnement – par ailleurs très sceptiques de la science– se référer à des études « démontrant » qu'il serait « Scientifiquement prouvé » que les OGM sont dangereux par exemple, et que les autres études seraient « moins scientifiques », manipulées ou faites par des chercheurs peu scrupuleux à la solde des grands de l'agrobusiness. Sans tenter ici d'analyser les influences de l'économie sur la recherche et sans être naïf sur l'indépendance de la science, nous voudrions mettre en évidence que cette posture recherche une *Vérité* absolue que certains scientifiques – honnêtes ceux-là – produiraient. Il s'agit au final d'une *foi* en une partie sélectionnée la science…

*La science produit-elle de la vérité ?*

Nous avons vu qu'en sciences, les connaissances sont fondées sur l'observation ou l'expérimentation et qu'elles existent dans un environnement d'hypothèses courantes plutôt que de certitudes. Ainsi la science ne produit pas des certitudes, mais est une manière de valider les savoirs qui s'inscrivent dans des hypothèses courantes et ses conclusions sont vouées à changer quand de nouvelles données ou de nouveaux cadres explicatifs « théories » apparaissent.

Nous avons vu que les « faits» scientifiques sont des interprétations qu'on ne remet plus en question. Il faut ainsi se résoudre à abandonner l'espoir d'une référence ultime de la vérité

absolue et assumer de se construire – de valider soi-même, là est l'essentiel – une vérité relative à des hypothèses forcément évolutives, et une vérité personnelle, donc subjective.

*Vers une quatrième posture…*

Dans cette posture que nous qualifierons de citoyen averti et responsable, la vérité n'existe que dans un cadre donné et en référence à des hypothèses, à un cadre d'observation. Dans cette posture-là, l'erreur n'a pas de sens, il y a des affirmations qui sont étayées scientifiquement, qui ont de l'épaisseur et d'autres qui n'en ont pas et qui sont simplement hors du champ de la science. Ces illustrations peuvent avoir du sens si elles sont comprises dans leur contexte, interprétées explicitement en référence à leur « épaisseur » métacognitive.

Si la science est une manière de valider les connaissances, apprendre la science c'est apprendre une manière de construire la vérité, de valider ses savoirs, et en particulier apprendre à mettre en perspective les informations dans leur contexte.

Une connaissance scientifique se caractérise donc par une certaine « épaisseur » : elle repose sur des données et une argumentation logique conduit depuis ces données vers l'affirmation, elle a une structure. Il y a donc des connaissances qui sont plus ou moins fondées scientifiquement selon si la présence de ces attributs métacognitifs est plus ou moins complète.

Ainsi, le « fait » que les humains et les chimpanzés diffèrent de 1.23% est un savoir mais ne peut être qualifié de connaissance scientifique que dans la mesure où celui qui l'énonce connaît sa structure : i) quelles sont les données sur lesquelles il repose (les génomes complets des deux espèces sont accessibles notamment dans les banques de données du NCBI par le ), ii) la justification : les liens entre les données et l'affirmation. Cela nécessite de connaître les méthodes utilisées (différence en termes de substitutions de nucléotides) et les hypothèses qui les fondent, ainsi que la mise en perspective avec les autres méthodes qui permettent d'établir les similarités (hybridation de l'ADN, homologie des gènes, comparaison de l'identité des SNP, ou celle des séquences, etc.) puisqu'elles donnent des résultats très différents. iii) la source de ce chiffre (The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium, 2005). On peut alors inférer de cette structure une connaissance « scientifique » qui a iv) un degré de certitude donné.

Par contraste, cette différence de 1.23% n'est pas une connaissance scientifique lorsqu'elle est simplement donnée comme « vraie » par référence à une autorité (la revue Nature, un ouvrage de référence ou l'enseignant). De même si un élève énonce simplement « la différence est de 1.23% », on ne peut pas distinguer s'il exprime une connaissance scientifique ou naïve, sans épaisseur ni structure : une sorte de Trivial Pursuit™ dans la catégorie « Science & Nature ».

On voit combien la science est une démarche exigeante et on comprend que l'école ne développe que rarement les connaissances scientifiques des élèves : ils ne font pas de la science mais le plus souvent ils acquièrent des savoirs *sur la science* (Kuhn, 1972; Osborne, 2010). De nombreux travaux mettent bien en évidence la difficulté (Giordan, 1978, 1994) qu'il y a à "faire de la science" – construire des savoirs scientifiquement fondés – dans l'école. Pour cela il faudrait que les élèves établissent eux-mêmes les propriétés de leurs connaissances – les valident par un raisonnement qu'on pourrait appeler démarche scientifique – et pas simplement qu'ils apprennent des « faits » à *propos de* sujets scientifiques. Comme une connaissance établie pleinement scientifiquement est un objectif impossible, il s'agit de leur apprendre à développer certaines de ces propriétés.

« D'où l'intérêt de la notion de pratique sociale de référence, développée par Jean-Louis Martinand (1986), puisque ce sont donc les pratiques de la discipline et le mode d'établissement de ses énoncés qu'il s'agit de transposer. » (Astolfi, 2008 p. 50).

Nous considérons ici une connaissance comme scientifique *si* et surtout *dans la mesure où* elle est validée par les liens avec des résultats basés sur des données expérimentales dont la source

est identifiée, dont les liens avec l'affirmation sont discutés en regard des hypothèses qui fondent les mesures et dont le degré de certitude n'est pas total.

Une connaissance complètement scientifique est donc rare, surtout dans l'école, mais cette définition va nous permettre de formuler les caractéristiques à développer avec les élèves et nous aidera à mesurer leur progression.

*Identifier les caractéristiques de connaissances scientifiques à développer*

Le PER (Plan d'Etude Romand) place l'étude des sciences de la nature dans une perspective citoyenne.

> Dans une société fortement marquée par les progrès scientifiques et technologiques, il est important que chacun possède des outils de base lui permettant de comprendre les enjeux des choix effectués par la communauté, de suivre un débat sur le sujet et d'en saisir les enjeux principaux. Face aux évolutions toujours plus rapides du monde, il est nécessaire de développer chez tous les élèves une pensée conceptuelle, cohérente, logique et structurée, d'acquérir souplesse d'esprit et capacité de concevoir permettant d'agir selon des choix réfléchis. (CIIP, 2011, pp. commentaires généraux, page web)

Ainsi une capacité à comprendre les questions scientifiques en vue de l'action est un objectif de la formation de base pour tous les élèves en Suisse.

En somme, nous chercherons à développer trois aspects de la connaissance scientifique :

- La connaissance scientifique se caractérise par le type de validation. La connaissance étant une propriété construite dans de la personne qui connait, la validation doit être autonome pour que l'information (savoir) devienne une connaissance.
- La science est une manière de valider par confrontation logique et par argumentation.
    - La validation est scientifique dans la mesure où elle est faite en référence à des données, aux hypothèses qui les fondent et en discutant la solidité de ces liens (Bromme, et al., 2008; Toulmin, 1958). Il s'agit donc d'une validation *individuelle*.
    - La validation est le produit de confrontations socio-cognitives (Doise & Mugny, 1981) qui nécessitent que les idées soient exposées aux autres (on peut faire le parallèle avec le processus de *peer-review* et de publication), et que la discussion de leur validité soit le moins possible perturbée par des interactions relationnelles (régulation du conflit épistémique) ce qui nécessite une structure coopérative (Buchs, Darnon, Quiamzade, Mugny, & Butera, 2008; Johnson & Johnson, 1989). Il s'agit donc d'une validation *sociale*. Elle est une étape nécessaire de la construction de connaissance scientifiques : la confrontation sociale éprouve et renforce la connaissance individuelle.
- La connaissance scientifique s'inscrit dans un paradigme défini par des questions, des objets et des méthodes. (Kuhn, 1972)

Ainsi, la connaissance est fondamentalement un processus cognitif dans l'individu (la connaissance est scientifique dans le mesure où elle a une structure (Bromme, et al., 2008) et l'individu sait les raisons qui justifient cette croyance) mais elle est aussi un processus social : elle nécessite la confrontation aux autres pour éprouver la solidité de ces justifications et élargir leur base.

Il ne nous a pas paru réaliste de poursuivre l'objectif que toutes les connaissances des élèves soient pleinement scientifiques avec toute l'épaisseur que nous avons définie plus haut. Nous

nous sommes intéressés tout spécialement aux processus qui construisent l'épaisseur des connaissances, c'est-à-dire les manières spécifiquement scientifiques de valider les connaissances. Ni de développer toutes les dimensions de l'expérimentation (cf. Tableau 1) comme la conception de plans expérimentaux ou la compréhension synoptique. Parmi les critères d'une connaissance scientifique, nous avons choisi de traiter plus particulièrement la validation autonome et la sélection des ressources parce qu'elles promettent de développer cette autonomie citoyenne dans la formation d'une opinion construite et étayée. Etayée – entre autres – par une bonne compréhension des mécanismes biologiques, mais aussi étayée de manière scientifique : par les liens logiques entre données et affirmation, en référence aux hypothèses et aux manières dont les savoirs ont été construits.

Ces réflexions nous ont conduit à tenter d'incarner ces conjectures dans des dispositifs visant à développer chez les élèves des connaissances – étayées au moins partiellement par cette compétence de validation scientifique. C'est-à-dire de fonder leur validation autonome sur les liens avec les données (au mois des ressources d'authenticité plus grande que l'enseignant), leur mise en perspective et la discussion de ces liens. Cela fonde en partie des éléments de design et conjectures suivantes.

- ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves
- ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant)
- CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage
- ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances

Ensuite nous avons analysé ces dispositifs afin de chercher les caractéristiques de designs susceptibles de développer chez les élèves la connaissance scientifique – le processus de validation, mais aussi le résultat mesurable et communicable. La double visée de développer des connaissances – forcément individuelles – et la nécessité du débat et de confrontations forcément sociales – avec les pairs pour éprouver ces connaissances constitue une tension centrale du design au cœur de ce projet.

# 4 Enseigner la pratique de la science ?

La réflexion sur la nature de la science – en particulier de la biologie – et des connaissances scientifiques nous conduit maintenant à envisager comment l'enseigner. Nous commencerons par situer la question de l'enseignement de la biologie au confluent des savoirs qui le sous-tendent, puis nous passerons en revue quelques difficultés bien étudiées et les manières de la problématiser, puis discuterons les modèles généraux de son enseignement pour en choisir un et discuter ses caractéristiques en vue de développer la capacité à connaître scientifiquement chez l'élève telle que nous l'avons décrite.

## 4.1 La perpendicularité des savoirs : comment articuler savoirs disciplinaires, savoirs enseignants et de recherche en éducation ?

L'enseignement de la science peut être abordée, soit depuis la recherche en biologie qui produit les savoirs à enseigner, soit depuis les sciences de l'éducation, la didactique, la psychologie éducative, l'histoire ou la sociologie de l'éducation qui discutent les conditions de cet enseignement, soit encore depuis les pratiques professionnelles des enseignants qui discutent les méthodes d'enseignement. Ces approches sont incontestablement imbriquées, mais sont situées dans des paradigmes distincts et produisent sur les mêmes questions des savoirs très différents et peu compatibles.

Bien qu'on puisse sans doute identifier d'autres sortes de savoirs en jeu dans l'éducation, nous les regrouperons – pour la discussion ici seulement – en trois catégories : les savoirs disciplinaires, les savoirs scientifiques *sur* l'éducation et les savoirs enseignants. Nous pensons avec (Tardif, Lessard, & Lahaye, 1991) que l'enseignant n'est pas seulement un transmetteur de savoirs disciplinaires qui appliquerait des savoirs issus des sciences de l'éducation, mais qu'il est producteur – par transposition interne (Chevallard, 1991) nous y reviendrons – de savoirs différents et nouveaux. Nous appellerons ces savoirs enseignants ou d'expérience. Il semble que dans la littérature en didactique allemande notamment, on emploie le terme similaire de *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) (Shulman, 1999) qui exprime bien l'idée qu'il y a plusieurs formes de savoirs en jeu dans l'éducation, Shulman décrit le PCK comme l'intersection dans un diagramme de Vienne des savoirs pédagogiques et de contenu.

> *Pedagogical Content Knowledge. A second kind of content knowledge is pedagogical knowledge, which goes beyond knowledge of subject matter per se to the dimension of subject matter knowledge for teaching. I still speak of content knowledge here, but of the particular form of content knowledge that embodies the aspects of content most germane to its teachability.*
>
> *Within the category of pedagogical content knowledge I include, for the most regularly taught topics in one's subject area, the most useful forms of representation of those ideas, the most powerful analogies, illustrations, examples, explanations, and demonstrations-in a word, the ways of representing and formulating the subject that make it comprehensible to others. Since there are no single most powerful forms of representation, the teacher must have at hand a veritable armamentarium of alter- native forms of representation, some of which derive from research whereas others originate in the wisdom of practice. Pedagogical content knowledge also includes an understanding of what makes the learning of specific topics easy or difficult: the conceptions and preconceptions that students of different ages and backgrounds bring with them to the learning of those most frequently taught topics and lessons.* (Shulman, 1999 p. 9)

Shulman met aussi en évidence que le savoir dans lequel un expert enseignant se définit est lié aux deux autres formes de savoirs, mais son modèle les met sur le même plan et visualise par une intersection de deux cercles (diagramme de Vienne) cette troisième forme de savoir. Une intersection entre deux formes de savoirs ne lui donne – implicitement – pas un statut de savoir à part entière. Aussi, nous tenterons de développer ici l'idée que ces trois formes de savoirs différents sont non seulement distinctes, juxtaposées avec peu de terrain commun, mais qu'elles ne sont pas dans le même plan.

La circulation des savoirs est un enjeu crucial dans une société dite de la connaissance et particulièrement dans l'éducation. Des recherches sur l'efficacité des flux de savoirs qui inondent les enseignants donnent des outils pour comprendre certaines difficultés dans la formation et suggérer des pistes sur les manières d'aborder les communications entre les acteurs des dispositifs éducatifs.

Le type de savoirs qui sont efficacement accueillis par les enseignants a été étudié et Huberman en fait une synthèse qui révèle combien les savoirs avec lesquels les enseignants travaillent efficacement sont différents de ceux qui ont cours dans le monde académique.

> L'image globale qui ressort des études classiques et récentes sur l'utilisation des connaissances par les enseignants est celle d'un praticien puisant surtout dans sa propre expérience et dans celle de ses pairs pour résoudre des problèmes ou modifier son enseignement. Le recours à des sources scientifiques, distantes ou non éducationnelles est rare, à l'exception des revues et des ouvrages de référence d'accès facile. On observe surtout que les enseignants collectionnent et échangent des « recettes » (réponses appropriées aux situations courantes, solutions ponctuelles aux problèmes rencontrés fréquemment), recettes qui permettent au « collectionneur » d'élargir son répertoire pédagogique, sa « boîte » à outils didactiques. Ces recettes s'échangent sur la base d'une validation subjective, pragmatique et ancrée dans le corps de métier. Les idées, les techniques, les produits et les explications des phénomènes de la vie scolaire qui « ont bien marché chez moi » circulent entre utilisateurs, mais subissent tout de même un test intuitif préalable - comment ce message me convient-il ? - avant d'être appliqués dans la classe. A ce propos, les enseignants s'accordent peut-être implicitement sur le fait que le style d'enseignement de chacun, croisé avec la complexité de la classe, est si particulier ou unique que l'on ne peut pas simplement transférer de l'information ou de l'expertise d'un praticien à l'autre. Cet aspect des choses - le recours à l'intuition d'abord et l'hypothèse qu'il faut toujours réinventer ou adapter ce que dit autrui - est peut-être ce qui distingue les enseignants d'autres « professionnels » qui, eux, paraissent s'inspirer d'une base de connaissances plus stable et dépersonnalisée. Ceci posé, le profil de l'utilisation des connaissances externes par les enseignants n'est pas plus artisanal, fragmenté, subjectif, ni plus saturé d'usages conventionnels et de folklore que chez les ingénieurs, les juristes ou les médecins. (Huberman, 1986 p. 154)

La difficulté à communiquer entre les chercheurs et les enseignants a aussi été discutée sous un angle différent, notamment par (Tanner, Chatman, & Allen, 2003) qui évoquent les différences de culture professionnelle, les pièges du langage où les mots ont des sens différents, et les finalités dans la collaboration n'incluent pas forcément l'apprentissage mutuel. Cette revue de la littérature offre des recommandations très intéressantes, mais nous relevons que les savoirs et leurs intersections ou différences sont aussi présentés dans le même plan.

Par ailleurs, les sociologues nous le disent (Vinck, 1995), les groupes sociaux se définissent aussi par ces codes et nous pensons que ces différences épistémologiques se traduisent par des codes sociaux différents : des manières d'écrire distinguent notamment les chercheurs de différentes disciplines.

On pourrait étudier les différences subtiles dans les règles de référencement des citations qui diffèrent entre les sciences de l'éducation et la biologie, ou encore la concision plus grande des articles en biologie qu'en sciences de l'éducation. Ces différences peuvent être des obstacles.

Ces nuances ont évidemment du sens dans chacun des domaines, mais elles accentuent le sentiment de différence plutôt que le sentiment d'appartenance et ne facilitent pas les échanges entre les acteurs de ces trois champs pour développer l'intégration de ces savoirs chez les étudiants. En effet, ces trois piliers de l'enseignement de la biologie sont forcément convoqués implicitement ou explicitement dans les formations d'enseignants.

Le modèle que nous présentons a été publié sous une forme préliminaire (F. Lombard, 2009). Il visualise leur épistémologie différente dans des plans différents de l'espace des savoirs. Il se veut plus heuristique que philosophique : un artefact conceptuel (au sens de (Bereiter, 2002) Cf. 4.4.2 p. 118) qui illustre les interactions entre ces trois formes de savoirs et peut aider à discuter les interventions éducatives.

*Savoirs disciplinaires*

Ces savoirs sont ceux produits par la recherche dans le domaine de référence : dans notre cas, la biologie. Publiés dans des revues comme Nature, Science ou PNAS, ces savoirs sont bien reconnus. Comme les autres sciences, la biologie fonctionne à l'intérieur d'un paradigme dominant (Kuhn, 1972) qui détermine les objets de recherche, l'étendue des questions acceptables, les méthodes et les cadres théoriques d'interprétation qui lui sont propres.

*Savoirs scientifiques sur l'éducation*

Nous regrouperons ici un vaste ensemble de savoirs produits par les recherches autour de l'éducation : notamment les sciences de l'éducation, la didactique, la psychologie éducative, la sociologie et l'histoire de l'éducation, etc. Ce regroupement a été nécessaire pour éviter un modèle multidimensionnel qui aurait été plus difficile à visualiser.

Ces savoirs ne sont pas homogènes et nous craignons que ce regroupement puisse choquer les spécialistes de ces domaines très différents. Si ils portent sur l'éducation comme les savoirs enseignants, nous les avons groupés autour de cette distance analytique qui les distingue : ils dissèquent les processus éducatifs à différents niveaux et sous des angles très différents. Chacune de ces disciplines fonctionne à l'intérieur d'un paradigme, avec ses objets de recherche, ses questions, ses méthodes, ses stratégies. Mais la distance par rapport à l'action et la recherche d'objectivité contraste avec l'orientation pragmatique et l'implication des savoirs discutés au point suivant.

*Savoirs enseignants : une science appliquée ?*

Selon Tardif et Lessard, les savoirs d'expérience dans la profession enseignante, qu'ils appellent aussi savoirs *enseignants* – et nous retiendrons ce terme – «forment un ensemble de représentations à partir desquelles les enseignants interprètent, comprennent et orientent leur métier et leur pratique quotidienne dans toutes ses dimensions.» (Tardif, et al., 1991 p. 66). On peut noter que ce sont des savoirs concernant l'éducation qui se distinguent toutefois des précédents en ce qu'ils n'ont pas cette distance analytique, mais revendiquent au contraire une forte implication personnelle et sont orientés vers l'action.

Si la recherche dans ce domaine-là existe (l'ingénierie didactique est un exemple), elle est peu reconnue en francophonie et dans nos institutions de formation locales, rarement formalisée et les enseignants n'ont pas souvent conscience de son existence. « Le savoir enseignant : un savoir pluriel, stratégique et dévalué » (Tardif, et al., 1991). Pourtant, il y a effectivement production de savoirs : puisque certains sont manifestement de meilleurs enseignants que d'autres, c'est bien qu'ils connaissent des savoirs (ou savoir-faire) que les autres n'ont pas. Et ces savoirs-là

déterminent en partie l'efficacité de l'école, ils sont donc importants dans la réflexion sur les formations d'enseignants, mais probablement pas assez reconnus par tous les acteurs : « De façon générale, on peut dire que les enseignants occupent une position stratégique mais socialement dévaluée au sein des différents groupes qui interviennent d'une manière ou d'une autre dans le champ des savoirs. » (Tardif, et al., 1991 p. 59).

D'autres professions impliquées dans la mise en œuvre de savoirs appliqués comme les médecins, les ingénieurs – qui sont également occupés à élaborer des stratégies d'application de savoirs fondamentaux construits par d'autres – sont pourtant bien mieux valorisées.

Nous pensons que les savoirs enseignants se nourrissent bien des deux autres et peuvent les nourrir, mais sans qu'il y ait de subordination. C'est pour cela que nous représentons chacun de ces savoirs dans un plan distinct et que nous les situons perpendiculairement, ce qui traduit mieux cette différence dans l'égalité.

### 4.1.1 Un exemple en biologie : l'alignement des insulines de vertébrés et la formation d'un arbre phylogénétique

Pour illustrer l'usage de ce modèle tridimensionnel, nous allons prendre ici un exemple d'artefact de traitement des données (l'alignement de séquences) dans un cas très classique (l'insuline, probablement la protéine la plus connue) et montrer comment il se traduit par des savoirs très différents dans les trois plans concernés.

Un peu de contexte : une protéine est constituée d'une séquence d'acides aminés. En première analyse, la séquence détermine entièrement les propriétés de la protéine. Pour de très nombreuses protéines, on dispose de la séquence chez des organismes très divers (cf. Figure 5). On appelle alignement multiple de séquences le processus par lequel on organise par degré de similitude des séquences de protéines (Attwood & Parry-Smith, 1999). En général, on aligne visuellement les acides aminés qui les composent pour mettre en évidence les similitudes et on surligne les zones de similitude plus élevées (cf. Figure 6). Ces alignements multiples sont ensuite utilisés pour construire des cladogrammes visualisant les degrés de différences entre les séquences (cf. Figure 7) qu'on peut ensuite interpréter et discuter comme arbres phylogénétiques.

| Entry name | Protein names | Organism | Gene |
|---|---|---|---|
| INS_HUMAN | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Homo sapiens (Human) | INS |
| INS_PANTR | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Pan troglodytes (Chimpanzee) | INS |
| INS_CERAE | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Cercopithecus aethiops (Green monkey)(Grivet) | INS |
| INS_BOVIN | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Bos taurus (Bovine) | INS |
| INS_SHEEP | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Ovis aries (Sheep) | INS |
| INS_PIG | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Sus scrofa (Pig) | INS |
| INS_CANFA | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Canis familiaris (Dog) | INS |
| INS_RABIT | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Oryctolagus cuniculus (Rabbit) | INS |
| INS1_RAT | **Insulin-1** [Cleaved into: Insulin-1 B chain; Insulin-1 A chain ] (Precursor) | Rattus norvegicus (Rat) | Ins1 (Ins-1) |
| INS1_MOUSE | **Insulin-1** [Cleaved into: Insulin-1 B chain; Insulin-1 A chain ] (Precursor) | Mus musculus (Mouse) | Ins1 (Ins-1) |
| INS_CRILO | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Cricetulus longicaudatus (Long-tailed hamster)(Chinese hamster) | INS |
| INS_RODSP | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Rodentia sp | INS |
| INS_CAVPO | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Cavia porcellus (Guinea pig) | INS |
| INS_CHICK | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Gallus gallus (Chicken) | INS |
| INS_ONCKE | **Insulin** [Cleaved into: Insulin B chain; Insulin A chain ] (Precursor) | Oncorhynchus keta (Chum salmon) | ins |
| INS_ANGAN | **Insulin** [Cleaved into: Insulin A chain ] (Precursor) (Fragment) | Anguilla anguilla (European freshwater eel) | ins |

P41522 P21563 P01318 More » Retrieve Align Blast Clear

Figure 5 : une sélection d'insuline de différentes espèces proposées par la base de données UniProtKB avec la requête 'Insulin' : INS_HUMAN est l'insuline humaine, INS_PANTR est l'insuline du chimpanzé *Pan troglodytes*, INS_CHICK est l'insuline de poulet et INS_ONCK l'insuline du saumon.

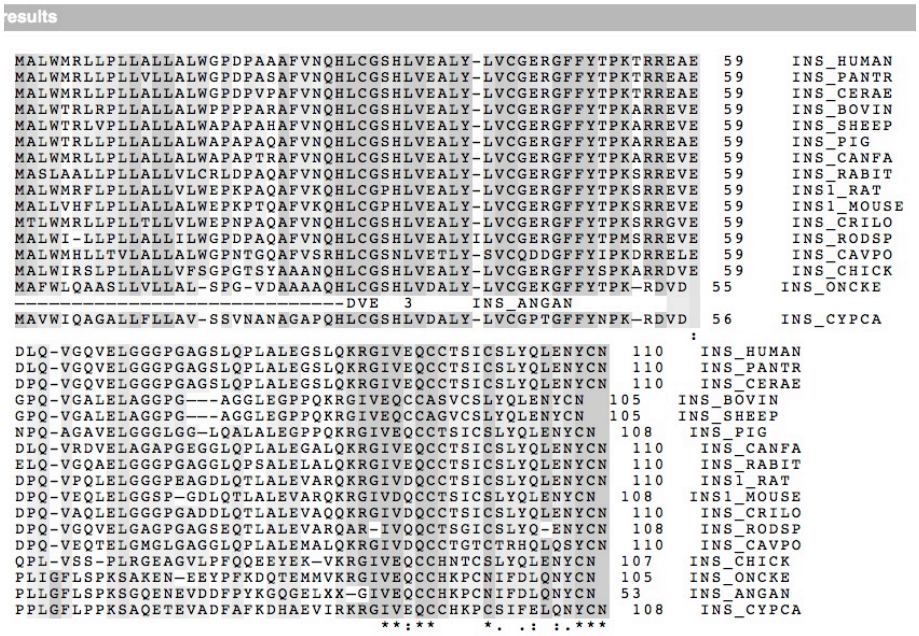



Figure 6: Alignement multiple des séquences d'insuline de différentes espèces : insuline humaine (INS_HUMAN) et insuline du chimpanzé *Pan troglodytes* (INS_PANTR). Chaque lettre représente un acide aminé (code 1 lettre). Les zones grisées mettent en évidence les régions les plus similaires entre les différentes séquences. Des zones de très grande similitude (on parle de zones conservées évolutivement) sont ainsi mises en évidence en gris foncé, et des zones plus variables apparaissent en gris plus clair.

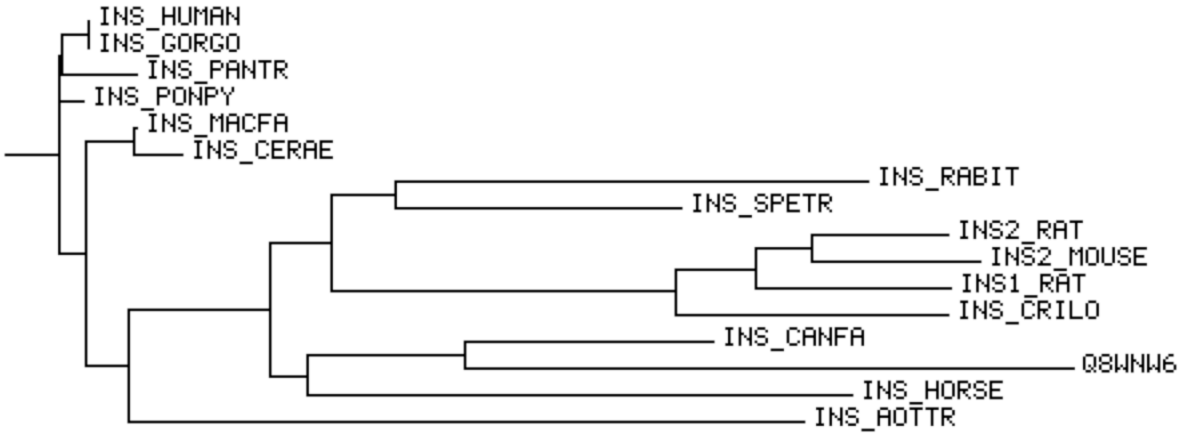



Figure 7: A partir de l'alignement multiple, on peut produire un arbre phylogénétique. La longueur du trait horizontal reliant les différentes extrémités est proportionnelle aux différences entre ces protéines. On voit que l'insuline humaine INS_HUMAN est très proche de celle du gorille INS_GORGO, toutes deux plus éloignées de celle du lapin INS_RABBIT ou du Chien INS_CANFA. Ce type de représentation permet surtout de repérer quelles séquences sont dérivées d'une séquence d'ancêtre commun.

Une des protéines les plus célèbres – en tous cas dans l'éducation – est l'insuline, une hormone pancréatique impliquée dans la régulation du taux de glucose sanguin. Ce fut la première protéine à être séquencée en 1951 par Frederick Sanger (Sanger & Tuppy, 1951) mettant en évidence la nature linéaire de *séquence* des protéines. Ses travaux lui ont valu le prix Nobel de chimie en 1958. L'insuline est aussi un exemple classique de protéine dans de très nombreux ouvrages de biologie.

### 4.1.2 **Les savoir dans la dimension Biologie**

Dans cette dimension, les savoirs sont d'abord des données biologiques et le débat porte sur leur interprétation en fonction des techniques et des algorithmes qui on permis de les produire.

Dans cette dimension, les questions méthodologiques révèlent la profondeur des connaissances et distinguent ceux qui sont à même de les discuter, de mener un débat scientifique fondé. Par exemple, la prise en considération des limites du principe de parcimonie qui sous-tend les alignements, (Attwood & Parry-Smith, 1999) ou des effets de paramètres implicites qui permettent la formation des arbres phylogénétiques ou encore des fondements du *bootstrapping* qui permet de déterminer l'arbre le plus probable (Rechenmann, 2009) sont des signes par lesquels les experts pourraient se reconnaitre. On reconnaîtra aussi l'expertise à la discussion – par exemple – du problème de la racine de l'arbre phylogénétique, le *rooted supertree problem.* Ainsi, c'est à la capacité à mettre en perspective les données produites, à discuter les algorithmes, c'est-à-dire à analyser de manière critique les savoirs dans ce plan épistémologique propre à la discipline qu'on reconnaîtra l'expert. Et la reconnaissance sociale se manifeste par les publications. Sans ignorer les autres plans, la réflexion de ces chercheurs est principalement dans celui de la recherche en biologie.

Nous verrons que cette expertise échappe souvent aux autres spécialistes qui ont pourtant cette capacité concernant d'autres savoirs dans leur propre plan.

### 4.1.3 **Les savoir dans la dimension recherche en éducation**

Les différentes disciplines regroupées ici porteront des regards sensiblement différents sur cet exemple. Il est trop nouveau pour que nous ayons pu trouver une littérature traitant de ce cas précis, mais on peut évoquer quelques problématiques générales qui pourraient s'appliquer à l'étude de cet exemple.

En didactique, on pourrait s'intéresser à la problématique de la transposition didactique de ce savoir depuis la recherche par les programmes et plans d'études jusqu'au savoir enseigné. On pourrait discuter des niveaux de formulation adaptés aux différents publics scolaires. On pourrait disséquer les concepts impliqués dans l'activité d'alignement mentionnée plus haut : la séquence de chaque protéine est l'expression des séquences d'ADN, selon des mécanismes qui peuvent être modélisés par une simple colinéarité, l'alignement exprime un présupposé évolutif d'origine commune, etc. On pourrait discuter des effets motivationnels de l'utilisation d'outils technologiques encore nouveaux (Viau, 2005), de l'accès à des données de plus grande authenticité (Achtenhagen, 2003; Doyle, 2000; Jiménez-Aleixandre & Fernández-López, 2010; Roth, 1995; Scardamalia & Bereiter, 2006; Schwartz, Lederman, & Crawford, 2004).

On pourrait analyser les effets des représentations différentes des mêmes données sur le renforcement des conceptions – obstacles (Bachelard, 1947; Giordan, 1989; Joshua & Dupin, 1993; Quessada, Munoz, & Clément, 2007; Schwartz, et al., 2004; Vosniadou, 1994) : par exemple le fait que l'homme soit tout en haut des représentations renforce la conception que l'évolution serait linéaire, finaliste et que son aboutissement serait l'homme.

Le choix du type de représentation graphique pourrait être étudié ; on sait qu'il n'est pas anodin (Gregory, 2008) Cf. Figure 8.

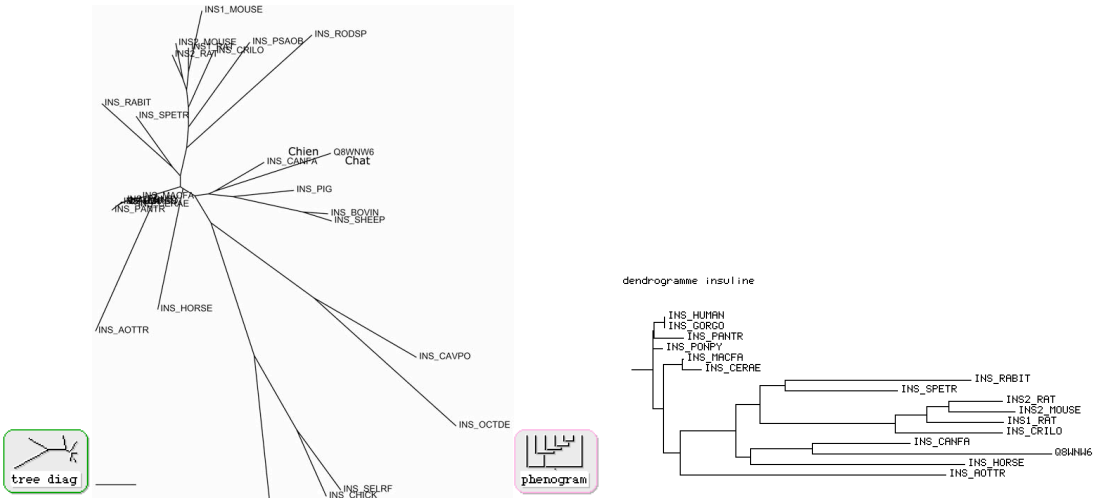



Figure 8 Différentes formes de représentations graphiques des arbres communiquent différentes relations entre les espèces et expriment des modèles implicites différents.

Le cladogramme peut être lu comme une représentation des relations phylogénétiques alors qu'il schématise les relations entre les organismes basées sur les différences quant à la protéine étudiée.

Un exemple de préoccupation propre à plusieurs domaines de ce plan de savoirs est la conscience aiguë dans les disciplines des sciences sociales que le regard sur le monde détermine ce qu'on y voit. L'observation est un construit et non un donné dira-t-on : les « données » ne sont justement pas données (Astolfi, 2008). Il en résulte la nécessité de définir très précisément ce qu'on cherche à observer, les conditions de cette observation pour interpréter les observations. Et souvent, une méfiance des « faits » qui peut surprendre le chercheur en biologie et l'enseignant.

On s'intéressera – pour prendre un autre exemple proche de cette recherche – dans une perspective historique, à la manière dont ces bases de données ont changé la manière de construire le savoir en biologie. « Alors que la recherche expérimentale avait fait du laboratoire et du chercheur individuel les éléments constitutifs de toute recherche scientifique, les auteurs des bases de séquences proposaient une organisation collective et délocalisée du travail scientifique remettant en cause la notion même d'auteur individuel. On peut comprendre cette tension comme résultant de différences entre économies morales, autrement dit comme des conflits au sujet de valeurs essentielles qui fondent l'échange des biens, l'attribution du crédit, et la définition des buts méritant d'être poursuivis. » (Strasser, 2006a p. 32). C'est-à-dire qu'on peut aujourd'hui publier en utilisant les données d'autres chercheurs, partagées dans les bases de données, sans en faire des co-auteurs. Par exemple, la comparaison du génome humain et du chimpanzé (Pollard, et al., 2006) utilise les données de très nombreux chercheurs ayant séquencé ces génomes qui ne sont pas cités comme co-auteurs, mais simplement cités dans les références parmi de nombreux autres.

On pourrait aussi s'intéresser, par exemple, au glissement épistémologique qui est en train de se produire avec la transformation d'une biologie réductionniste basée sur des relations stériques, avec les complémentarités de forme et le modèle "*clé-serrure*" comme illustration typique, vers une biologie où le vivant est un flux d'informations qu'on a l'ambition de modéliser, les questions sont plus globales, systémiques et les approches sont fécondées par l'interaction avec des domaines nouveaux : théories de l'information, mathématique, ingénierie, etc. (Wooley & Lin, 2005). On discuterait alors des modalités de coexistence des deux visions de la biologie. Sans ignorer les autres plans, la réflexion de ces chercheurs est principalement dans celui de la

recherche en éducation. Ici aussi, la reconnaissance sociale et l'expertise sont déterminées par des capacités à mettre en perspective qui se mesurent par la capacité à publier.

Notre recherche se place principalement dans ce plan quand on y discute les changements qu'une biologie instrumentée par les technologies induit dans l'enseignement et la formation.

### 4.1.4 **Le plan des savoirs enseignants**

Les savoirs valorisés par les enseignants sont notamment (Huberman, 1986) ceux de la conduite de classe, déterminés par l'intensité relationnelle (des centaines de micro interactions par heure) et décisionnelle (plus de cent décisions par heure) de l'activité enseignante. Pour être efficace dans cette dimension, les savoirs doivent être d'abord de nature instrumentale, immédiatement applicable et ponctuelle (Huberman, 1986). D'une manière générale, les informations qu'ils recherchent doivent: i) être rapidement rentable, avec une application immédiate. ii) avoir un caractère instrumental, de nature utilitaire. iii) avoir été créées (ou recréées) par eux (adaptabilité locale), iv) être légitimées par le corps de métier, par des collègues plutôt que des experts extérieurs, v) être communiquées personnellement plutôt que par voie écrite. (Huberman, 1986 p.162).

Par exemple, avant d'aligner les séquences, un enseignant expérimenté précisera qu'il est bon d'organiser la classe afin que les élèves choisissent chacun une protéine dans une liste de protéines adaptées aux connaissances des élèves, en lien avec les autres documents et les chapitres enseignés. Il suggérera que chacun des élèves sélectionne plusieurs espèces d'au moins deux embranchements différents et de règnes différents quand c'est disponible. Il aura vérifié que ces choix sont possibles et prévu comment gérer les protéines pour lesquelles ces choix ne sont pas possibles. Avec certains élèves, il mettra au point une activité avec des séquences sous forme de rubans imprimés et avec des ciseaux et de la colle, guidera les élèves pour les aligner. Il sera capable d'imaginer par exemple que cette activité soit une manière de susciter les questions des élèves, en choisissant une série de séquences dont l'une a subi une délétion. Le problème sera alors vu comme une rupture épistémologique (on n'y emploiera probablement pas ce terme qui évoquerait le jargon « pédagogiste » tant décrié dans ce milieu) destinée à susciter une discussion et à « faire passer » un concept nécessaire à la lecture de ces alignements

Il précisera peut-être les questions destinées à leur faire regarder quels sont les acides aminés dans les zones sombres et claires et à leur donner du sens : faire progresser leurs questions pour les aider à découvrir que les régions les plus foncées sont les régions qui sont les plus semblables pour toutes les espèces étudiées.

Pour leur faire mieux observer le degré de similitude (ou le nombre de différences) pour la même protéine, on pourrait leur demander de repérer les espèces les plus similaires et les plus différentes. L'enseignant aura préparé des consignes précises pour guider la réflexion des élèves telles que : « Comparer différentes protéines : les espèces les plus similaires et les plus différentes sont-elles les mêmes, du même groupe ? »

Sa réflexion aura identifié des objectifs-obstacles comme par exemple : « Comment les amène-t-on à discuter de la signification évolutive des similitudes en termes d'origine commune et de convergence ? » et il saura choisir dans sa panoplie de techniques celles qui sont les plus pertinentes à cette classe particulière.

On voit que la manière d'étayer la progression des élèves, l'organisation des groupes, les modalités de contrôle et la gestion des productions sont ici au cœur des réflexions qui, sans ignorer les autres plans, sont situées principalement dans ce plan des savoirs enseignants.

Pour faire la preuve de son expertise, il s'agit dans cette dimension de montrer des savoirs immédiatement utilisables, ancrés dans le fonctionnement en classe, dans des valeurs humanistes et de les communiquer avec émotion, en somme montrer les capacités à enseigner efficacement.

Il y a ici aussi une mise en perspective de l'alignement des protéines, mais dans le plan des savoirs enseignants.

### 4.1.5 **Le problème de la perpendicularité**

On voit que ce qui détermine l'expertise dans chaque dimension est très différent, et nous défendons l'idée que les savoirs à propos du même artefact (l'alignement) dans chacun de ces plans sont très différents. Nous observons aussi que les aspects sur lesquels porte l'expertise de chacun sont si différents que la discussion entre ces personnes est difficile : assez pour se parler mais pas assez pour se comprendre aisément.

Ce modèle de la perpendicularité nous a maintes fois aidé à discuter de cette mécompréhension qui déchire trop souvent les formations d'enseignants et pollue les débats sur l'éducation.

Il nous semble que la confusion des plans de *savoir enseignant* et *recherche en éducation* conduise à des malentendus. Par exemple certains enseignants semblent disqualifier les savoirs de recherche en éducation parce qu'ils les examinent dans le plan des savoirs enseignants et que vus « par la tranche », ils paraissent peu pertinents. Des chercheurs en biologie pourraient disqualifier les propos d'enseignants sur la base d'imprécisions dans le plan des savoirs biologiques alors que ces derniers ont de l'épaisseur dans un plan perpendiculaire au leur, épaisseur qu'ils ne perçoivent donc pas. Dans une fiction célèbre, (Abbott, 1884) décrit comment des êtres vivant dans un espace à deux dimensions ne parviennent pas à comprendre l'épaisseur d'une sphère, illustrant combien la méconnaissance des autres champs de savoirs conduit à en sous-estimer la largeur et rend la communication difficile.

Nous avons discuté ces savoirs en terme de paradigme différents dans lesquels les questions, les cadres théoriques qui les construisent, les manières de justifier les réponses sont spécifiques. Les difficultés de communication prennent un sens supplémentaire dans la perspective sociale du paradigme : l'adhésion au paradigme et à ses signes dans la communication serait un facteur d'intégration ou de rejet dans le groupe social associé au paradigme (Vinck, 1995).

### 4.1.6 **L'épaisseur de la tranche permet les interactions**

Nous filons la métaphore un peu plus loin car elle exprime bien l'incompréhension des experts dans chaque domaine : plutôt que d'incommensurabilité – d'impossible compréhension parce que les savoirs n'ont pas de commune mesure, comme dirait peut-être Kuhn – entre ces plans, le modèle que nous proposons met en évidence que la communication peut se faire dans « l'épaisseur » de chacun dans les autres plans et de l'intersection entre deux plans. En effet, si l'on imagine que ces plans sont à peu près perpendiculaires, les savoirs qui font l'expertise dans chaque domaine ne font d'intersection avec chacun des autres plans que sur une ligne qui a l'épaisseur du plan : chacun voit les savoirs autres par la tranche – forcément peu épaisse - et ne perçoit la largeur des autres dans leurs dimensions d'expertise que par sa tranche à lui.

Les formations d'enseignants sont confrontées à cette difficulté de construire un objet à l'intersection de 3 plans qui n'est pas toujours très épaisse. Il nous semble que la plupart des acteurs se résolvent à se placer de manière prioritaire dans un de ces plans et ignorent les autres plans qu'ils perçoivent par la tranche donc comme peu importants. On pourrait dire qu'ils sont attirés par un paradigme et ignorent les autres.

Par exemple, un petit sondage dans un public de formateurs et d'enseignants en formation lors d'un colloque a révélé que ce public a très vite développé une réflexion riche et aboutie dans le plan des savoirs enseignants mais a eu plus de peine à élaborer leurs idées dans les deux autres.

Il faut ici noter la différence entre les plans de savoirs complètement distincts et dont l'intersection est infinitésimale, et les acteurs qui ne sont fort heureusement jamais complètement « plats », ils ont de l'épaisseur dans les autres plans de savoirs. Cela permet de dépasser les conclusions sinistres du modèles strictement géométrique où la communication

serait impossible, pour parler de l'épaisseur commune, qui respecte l'étendue du savoir de l'autre qu'on ne peut pas complètement mesurer. Expliciter l'étendue du savoir de l'autre qu'on ne connaît pas est bien plus favorable à la communication que de se fixer sur les limites du savoir de l'autre dans son plan à soi. Reconnaître que la même question se traduit différemment dans d'autres plans, c'est accepter de voir l'autre comme compétent dans un autre plan plutôt que peu compétent dans le sien.

Ainsi, ce modèle heuristique sans prétention philosophique s'est avéré un artefact conceptuel (au sens de (Bereiter, 2002) Cf. 4.4.2 p. 118) efficace pour discuter des interactions et des mécompréhensions (Astolfi, 2008; Bonner, 2004; Good, 2008; Huberman, 1989; Mervis, 2007; Perrenoud, 1995a; Sears & Wood, 2005) entre ces trois groupes d'acteurs de l'éducation aux sciences.

Notre recherche se situe principalement dans le plan des sciences de l'éducation, mais sa méthodologie la situe dans un espace qui a une certaine épaisseur dans le plan des savoirs enseignants. Elle est fondée par l'observation de la classe et ses méthodes développent une analyse rigoureuse qui caractérise ce paradigme, mais elle vise à produire des recommandations de design d'une certaine généralité. Elles pourraient être utilisées pour développer des designs éducatifs et les produits de cette recherche veulent avoir de l'épaisseur dans le plan des savoirs enseignants et être utiles dans ce paradigme-là.

## 4.2 Comment développer la connaissance scientifique dans des environnements infodenses

Dans le cadre de notre quatrième problématique (Problématique 4 : Transposition de l'intelligence informationnelle et construction de connaissances dans des environnements infodenses.), nous nous intéressons particulièrement à la manière de développer des connaissances scientifiques chez les élèves, et rapporterons ici quelques éléments sur lesquels s'est appuyée cette recherche pour définir le cadre dans lequel s'inscrit le développement des dispositifs étudiés.

### 4.2.1 La connaissance scientifique, notoirement difficile à développer chez les élèves

Nous avons vu dans la section sur la connaissance que l'énonciation d'une même information peut exprimer une connaissance très différente selon l'épaisseur métacognitive et épistémique qui l'étaye. Mais cette épaisseur n'existe que dans l'esprit de la personne et ce n'est que par ses manifestations orales, écrites, graphiques ou physiques qu'on peut l'appréhender. La question des méthodes conduisant des savoirs au développement de connaissances ayant cette « épaisseur » scientifique se heurte à de nombreuses difficultés dont celle de la mesurer. Commençons par étudier ce que la littérature nous dit sur les difficultés et les pièges classiques de l'enseignement des sciences ou en général mais qui serait pertinent à celui des sciences.

Pour développer des connaissances scientifiques, les représentations et les attentes des élèves lors d'une activité jouent un rôle crucial. En effet, la manière dont une information reçue est transformée en connaissance dépend de ce que l'apprenant pense faire de l'information qu'il reçoit, selon ses représentations de la source, selon comment il a compris la tâche attendue (Rouet, 2006) et son rapport au savoir.

De nombreux enseignants découvrent au début de leur carrière combien les élèves peuvent détourner les intentions et les dispositifs les plus créatifs pour obtenir la note souhaitée sans *vraiment* apprendre. Ce que *vraiment apprendre* peut vouloir dire n'est pas facilement défini.

Pour Carl Bereiter, le développement de connaissance scolaire doit s'écarter de deux pièges :

- être réduite à des énoncés appris par cœur ou à des activités creuses qui ne produisent pas de connaissances individuelle il parle de *"reduction to subject matter"* (Bereiter, 2002 p. 267).

Similairement « une discipline ne saurait se réduire aux seuls énoncés qui constituent le texte du savoir (dérive des pédagogies transmissives). » (Astolfi, 2008 p. 15)

L'autre piège que Bereiter évoque est la réduction des dispositifs à l'action et qu'ils ne construisent pas forcément du sens : il parle de « *reduction to activities*". Là aussi Astolfi met en garde : la connaissance « ne saurait non plus se diluer dans des gammes d'activités, déconnectées du contexte théorique qui leur confère du sens (dérive des pédagogies actives). » (Astolfi, 2008 p. 49)

Bereiter voit encore une troisième dérive : celle d'une focalisation sur l'expression de soi *"reduction to self-expression."* (Bereiter, 2002 p. 267).

Un réel apprentissage de connaissances scientifiques nécessite donc qu'on s'assure que l'apprenant a réellement compris la tâche attendue, surtout quand cette tâche est inhabituelle, ardue, puisqu'il est habitué à contourner l'effort d'apprendre. Bien sûr, s'en assurer ne garantit pas que l'élève effectue les activités cognitives souhaitées, mais on ne peut ignorer cette étape.

Là où (Perrenoud, 2004) analyse le « métier d'élève » pour montrer que les élèves développent des stratégies qui optimisent l'effort ou limitent les désagréments, il apparaît que ces stratégies sont souvent efficaces pour obtenir les résultats souhaités, mais pas forcément pour réaliser les apprentissages qui sont souhaités par l'enseignant.

Certains auteurs (Hutchison & Hammer, 2010) analysent le cadrage épistémique *epistemic framing* (*how students understand their own activity with respect to knowledge and learning)* et dissocient "*making sense of phenomena"* et *"the classroom game*" : dans le premier cas l'élève cherche à comprendre des phénomènes (*meaningful understanding of content)*, dans le second à obtenir des résultats, ce que Lemke appelle le *"classroom game*" que nous avons vu plus haut. En ce qui concerne les connaissances scientifiques, ils recherchent la validation par l'enseignant de leurs productions et sont bien loin d'intégrer ces savoirs dans leur système de pensée et encore moins de développer les attributs de la connaissance scientifique tels que construire une justification étayée et argumentée de manière critique, identifier les sources, discuter la validité.

> *Helping them make progress in science entails, in part, guiding them to frame what they are doing as making sense of natural phenomena, rather than one of formal answer production, the "classroom game" […]* (Lemke, 1990)
>
> *When students frame what they are doing as a classroom game, they expect knowledge comes in the form of information—in physics that information is often a formula—provided by the instructor or textbook. They expect their role is to receive that knowledge and reproduce it appropriately. Knowledge is valuable if it "counts," and it counts if it matches the information the authority sanctions as correct.*
>
> *By contrast, when students frame what they are doing as making sense of some natural phenomenon, they select and assess knowledge differently. Knowledge may come from anywhere, and students' role is to produce it and to assess it, produce it from their experience or reasoning or schooling, assess it for whether it makes sense—whether it matches what else they believe and understand.* (Hutchison & Hammer, 2010 p. 508)

Dit autrement, trop souvent les apprenants n'ont pas pour but d'apprendre mais de réaliser une performance satisfaisante et la littérature sur la motivation parle de poursuite de buts de *performance* (Butera, Darnon, Buchs, & Muller, 2006) plutôt que des buts de *maîtrise* pour faire référence à ce que la plupart des enseignants nommeront « apprentissage réel », qui modifie les concepts de l'apprenant.

Bromme distingue dans son modèle COPES quatre étapes itératives : (1) à partir de ses propres perceptions l'étudiant génère un modèle de la tâche et (2) détermine ses buts, puis (3) planifie sa

façon de gérer la tâche, ensuite il peut, parfois, (4) revenir sur ses stratégies et optimiser son expérience d'apprentissage.

> *More specifically, according to the COPES model, self-regulated learning occurs in four weakly sequenced and recursive stages: In the task definition stage (1), a student generates her/ his own perception about what the studying task is like (e.g., about constraints and resources). Based on this definition the student generates idiosyncratic goal(s) and constructs a plan for addressing that study task in the second stage of learning (2). In the enactment stage (3) the previously created plan of study tactics is carried out. That is, the learner actively enacts all kind of cognitive and metacognitive operations to solve the task at hand. The optional adaptation stage (4) pertains to fine-tuning of strategies within the actual learning task as well as to long- term adaptations based on the study experience. All four stages are embedded in the same general cognitive architecture that can be described by five constituents whose acronym gave the model its name: conditions (C), operations (O), products (P), evaluations (E) and standards (S).* (Bromme, et al., 2008 p. 27)

De son côté, (Rouet, 2006) a développé un modèle TRACE (*Task-based Relevance Assessment and Content Extraction*) qui analyse finement la manière dont l'élève s'imagine la tâche, détermine comment il aborde l'extraction d'informations dans des travaux de recherche.

Toutes ces recherches mettent en évidence l'importance de construire des dispositifs qui assurent que la représentation de l'élève sur ce qui est attendu dans une activité – ses buts à lui dirons-nous – déterminent des activités cognitives qui permettent d'atteindre les objectifs de l'enseignant. Le but de l'élève peut être, par exemple, de réaliser un texte ou un schéma pour un poster qui sera vu par toute l'école, ou de produire des données qui seront intégrées à un projet national d'étude de la qualité des eaux, etc. Les objectifs de l'enseignant pourraient être que l'élève développe sa capacité de synthèse dans le premier cas, ou maîtrise des techniques de mesure et sache les mettre en perspective dans le second. Il est notoirement difficile de les aligner :

> *The knowledge objectives that are pursued, limited as they may be, tend to be made invisible to the students. The objectives are translated into tasks and activities. The students' attention, and often that of the teachers as well, is concentrated on the activities and not on the objectives that gave rise to them.* (Scardamalia & Bereiter, 1993 p. 266)

Tous ces auteurs mettent en évidence la difficulté à dépasser un apprentissage de surface qui se limiterait aux notions, termes ou structures, et mettent en évidence la différence entre les représentations que se font les élèves des activités d'apprentissage et celles des enseignants. Nous reviendrons plus bas sur le rôle de ces représentations, mais relevons pour le moment qu'elles risquent d'être différentes et que le succès des dispositifs est lié à la prise en compte de ces représentations pour les faire converger. Le dispositif peut prévoir des activités destinées à faire évoluer les représentations de la tâche attendue ou à construire en commun un contrat didactique.

Nous emploierons désormais le terme de *but* pour les intentions qui donnent à l'activité de l'élève sa direction, et les distinguer ainsi des *objectifs* qui expriment les intentions formulées de l'enseignant.

### 4.2.2 **L'erreur, une faute ou une connaissance à transformer ?**

Les élèves commettent souvent les mêmes erreurs d'année en année et les enseignants s'énervent souvent (Astolfi, 2008 p. 135) ou martèlent les savoirs de référence pour mieux éliminer les erreurs. « J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs de sciences, plus encore que les autres si c'est possible, ne comprennent pas qu'on ne comprenne pas. Peu nombreux sont ceux

qui ont creusé la psychologie de l'erreur, de l'ignorance et de l'irréflexion.» (Bachelard, 1947 p. 17).

La répétition avec les années des mêmes difficultés devrait pourtant conduire à s'interroger sur les causes de ces difficultés générales et répétées. On peut supposer que la croyance de contingence qui domine la profession est un obstacle conceptuel à la recherche de solutions qui seraient forcément générales, que la réflexion issue de la recherche n'est pas assez proche ni exprimée en des termes assez apostoliques (Huberman, 1986) pour être vraiment prise en compte par les enseignants.

La recherche offre pourtant des outils conceptuels puissants « Les zones potentielles d'erreurs peuvent être déterminées et faire l'objet d'un travail didactique, au lieu de se cantonner à une dénonciation des fautes, aussi rituelle qu'inefficace. » (Astolfi, 2008 p. 135)

La recherche propose des cadres conceptuels et des approches qui permettent de voir sous un tout autre angle les mêmes observations.

Une définition très classique de l'erreur peut être trouvée dans un dictionnaire (Hachette, 1998) : *erreur* n. f. 1. Action de se tromper; faute, méprise […] 3. Ce qui est inexact (par rapport au réel ou à une norme définie). On y voit émerger la polysémie du mot et la relativité de la référence « réel ou norme définie ». De fait, en éducation, le concept est bien plus complexe. Astolfi propose 3 modèles pour comprendre l'erreur :

> a) Dans un modèle '"transmissif"', c'est l'élève, on vient de le dire, qui est considéré comme le " fautif ". Les erreurs commises sont perçues et vécues comme des dysfonctionnements didactiques, qui auraient du être évités, si les conseils donnés avaient été écoutés et l'attention convenablement dirigée. C'est la raison pour laquelle elle se trouve sanctionnée, à défaut peut-être d'un mode de traitement mieux approprié ...
>
> b) Avec le modèle '"comportementaliste"', l'erreur prend un visage différent. De nombreuses séquences de classe se présentent d'une manière moins magistrale puisque l'activité de l'élève y est guidée pas à pas par une série graduée d'exercices et de consignes. La conception sous-jacente est alors empruntée à la psychologie dite behavioriste, dérivée des recherches sur l'apprentissage animal et le conditionnement. Par transfert des expérimentations à l'enfant, l'idée est qu'il est toujours possible de faire apprendre une notion, même compliquée, à condition de procéder à la décomposition de ses étapes et difficultés en unités élémentaires aussi limitées qu'il est nécessaire, puis de renforcer positivement chaque acquis partiel, plutôt par récompense que par sanction. Avec ce modèle, comme avec le précédent, les erreurs ne devraient normalement pas survenir, puisque toute la programmation didactique par " petites marches " est élaborée avec un souci constant de les éviter. La différence est quand même importante puisqu'ici, si des erreurs malgré tout se produisent en dépit des précautions didactiques prises, elles seront moins imputées à la responsabilité défaillante de l'élève qu'à la manière dont a été pensée la progression didactique par l'enseignant ou le manuel. À l'idée de faute se substitue celle d'un " bogue ", comme on dit en informatique : puisqu'il y a un " os " dans un programme qui ne " tourne " pas conformément aux prévisions, il appartient au formateur de le réviser et de le réécrire. Reste que tant d'énergie déployée pour en éviter sa survenue montre bien que l'erreur conserve ici un statut toujours négatif et dévalorisé.[9]

[9] On peut noter que dans les modèles béhavioristes, l'erreur est perçue comme grave parce qu'elle risquerait d'être apprise, on y cherche donc des stratégies « *d'apprentissage sans erreur* ». On trouve cette expression associée à certains logiciels éducatifs de première génération d'inspiration très behavioriste. Plus récemment cette expression réapparaît, par exemple avec (Van der Linden, 2003) qui l'étaye dans le contexte de psychopathologies où elle a pu voir son efficacité démontrée, depuis là est évoquée l'idée de l'étendre au domaine scolaire.

> c) Les modèles " constructivistes ", en fort développement ces dernières années s'efforcent au contraire des précédents, de ne plus évacuer ainsi l'erreur mais de s'efforcer d'en comprendre la cause et la signification, voire même de prendre appui sur elle pour améliorer l'enseignement. Le but visé est toujours bien de l'éliminer à terme des productions des élèves, mais pour y parvenir on prend le parti de la laisser apparaître, voire de la provoquer, pour s'efforcer de mieux de la traiter. Quittant le statut de fautes condamnables ou de bogues regrettables, les erreurs deviennent à présent les symptômes intéressants d'obstacles auxquels la pensée des élèves se trouve affrontée. " Vos erreurs m'intéressent ", pourrait dire le professeur, puisqu'elles me permettent d'accéder au cœur du processus d'apprentissage, avec ses méandres, ses impasses et ses bégaiements. En fait, elles lui désignent comme en creux, les progrès intellectuels qu'il attend de la classe et qu'il doit encourager.» (Astolfi, 1997a p. 34)

Nous nous rattachons clairement à cette troisième vision pour les raisons pédagogiques évoquées, mais aussi parce que notre conception de la vérité en science implique qu'on y produit des savoirs qui ne sont jamais simplement vrais ou faux, mais temporairement acceptés et avec un degré de certitude forcément partiel.

### 4.2.3 **L'effet Topaze**

Un autre piège dans l'apprentissage est nommé effet Topaze en référence à la première scène du célèbre "Topaze" de Marcel Pagnol qui illustre un des processus fondamentaux dans le contrôle de l'incertitude : l'enseignant fait une dictée à un mauvais élève; ne pouvant pas accepter trop d'erreurs assez grossières et ne pouvant pas non plus donner directement l'orthographe demandée, il "suggère" la réponse en la dissimulant sous des codages didactiques de plus en plus transparents. Le problème est complètement changé, l'enseignant mendie une marque d'adhésion et négocie à la baisse les conditions dans lesquelles l'élève finira par donner la réponse attendue, le professeur a fini par prendre à sa charge l'essentiel du travail. La réponse que doit donner l'élève est déterminée à l'avance, l'enseignant choisit les questions auxquelles cette réponse peut être donnée. Evidemment les connaissances nécessaires pour produire ces réponses changent, leur signification aussi. En prenant des questions de plus en plus faciles, il essaie de conserver la signification maximum pour le maximum d'élèves. Si les connaissances visées disparaissent complètement, c'est « l'effet Topaze » (Brousseau, 2003).

On voit que l'apprentissage ne peut guère se faire dans un dispositif où l'incertitude et l'erreur ne sont pas tolérés. Cela met en évidence qu'un climat favorisant l'apprentissage est tolérant de l'erreur pour permettre à l'élève de trouver le courage de se lancer dans l'exploration, d'oser, d'expérimenter… Cette réflexion fonde partiellement la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage et l'élément de design ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté

> Il est important d'établir un climat où les réponses erronées sont parfaitement acceptables, même encouragées, parce qu'elles révèlent ce que nous savons et comment nous pensons. (Joyce, Weil, & Calhoun, 2000 p. 267, Traduction personnelle)

Nous relevons que cette tolérance est en tension avec le désir de nombreux enseignants de pourchasser l'erreur. En somme, le développement de connaissances scientifiques nécessite un rapport à la vérité tel que celui décrit plus haut (section 4.2.2 (p. 62)) comme la quatrième posture où la vérité n'existe que dans un cadre donné et en référence à des hypothèses, à un cadre d'observation. Dans cette posture-là, l'erreur n'a pas de sens, il y a des affirmations qui sont étayées scientifiquement, qui ont de l'épaisseur et d'autres qui n'en ont pas et qui sont simplement hors du champ de la science.

Ce principe avait été posé dans les guidelines pour le développement de logiciels, dans les années créatives de la naissance de la micro-informatique (1980-1990) – très marquées par des idées philosophiques et pédagogiques nouvelles – qui a permis à un public beaucoup plus large d'accéder à la maîtrise d'un ordinateur. Dit autrement, ce principe (et d'autres) a permis d'apprendre des notions et des compétences complexes à un grand nombre de personnes. Sa pertinence à l'apprentissage de la complexité supportée par les technologies dont nous discutons ici est renforcée par cette observation.

> *Forgiveness means that actions on the computer are generally reversible. People need to feel that they can try things without damaging the system; create safety nets for people so that they feel comfortable learning and using your product.* (Apple Computer, 1987 p. 10)

Cette vision du rapport entre l'explication nécessaire et la découverte dans l'action manifeste la position selon laquelle les savoirs sont dans l'action, autant voire plus que dans les propos : cette position est poussée assez loin dans le minimalisme (Carrol, 1998) qui cherche le développement de connaissances dans des activités autonomes et les réalisations de l'apprenant. Elle cherche en particulier à minimiser les consignes et instructions qui font souvent obstacle. Nous avons beaucoup de sympathie pour cette position qui nous paraît correspondre bien à des apprenants impatients, habitués à mettre en œuvre des artefacts sans lire le mode d'emploi. Bien qu'il faille naturellement énoncer clairement les consignes, nous pensons que c'est principalement les actions suivies d'effets sensibles pour les élèves qui induisent les changements chez les élèves. Nous estimons que cela incite à transférer dans la structure des dispositifs d'enseignement une part du rôle de cadrage et de contrôle que l'enseignant assume : en délimitant un cadre et des règles inscrits dans l'organisation des activités, dans la dynamique du déroulement, le cadrage peut être plus efficacement compris et la liberté qu'il laisse mieux manifestée.

D'inspiration constructiviste, ces réflexions fondent une conjecture selon laquelle les changements d'attitude des élèves résultent des situations que l'enseignant met en place plus que de ses propos, et surtout, lorsqu'il y a discordance, ce sont les effets prévisibles de leurs actions qui sont déterminantes. Elle est incarnée dans l'élément de design ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves.

Notons que cela libère aussi l'attention de l'enseignant – très sollicitée durant l'enseignement (Huberman, 1986) – pour d'autres rôles d'accompagnement, de régulation relationnelle et conceptuelle. Cela se manifeste par l'inscription de l'autorité dans la structure du design qui délimite un cadre qui incarne une part de l'autorité pédagogique et permet la liberté des élèves à l'intérieur de ce cadre. Nous pensons que définir un cadre c'est laisser la liberté à l'intérieur de ce cadre, ne pas le définir c'est conserver – ou tenter de conserver – le contrôle permanent sur l'élève (Perrenoud, 1995b).

Cela fonde un élément de design ED26 : L'autorité pédagogique peut être inscrite dans la structure du design afin de délimiter un cadre qui délimite mais donne la liberté aux élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle.

Elle conduit aussi à implémenter dans le dispositif les savoirs sous forme d'activités suscitant les questions, les faisant évoluer ou mettant en défaut les conceptions pour que les erreurs rencontrées et les perturbations du milieu obligent l'apprenant à revoir ses conceptions et donc à apprendre. Elle considère même comme étayage de l'apprentissage des activités qui font émerger les conceptions erronées dans un milieu qui soutient l'apprentissage plutôt que de tenter d'éviter les erreurs par de longues explications préalables. Elle exprime fermement la position constructiviste que les confrontations socio-cognitives peuvent développer les connaissances (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui

peuvent conduire à l'apprentissage). Elle exprime aussi l'idée que les questions qui guident l'apprentissage des élèves s'affinent avec leurs connaissances. Il en résulte des choix suscitant l'activité cognitive ; notamment de faire écrire et présenter les idées en construction (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel et ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé)). La production qui étaye l'apprentissage doit pouvoir être élaborée sans craindre que les imperfections du début aient des conséquences dramatiques. On ne cherche pas forcément à éviter les erreurs des élèves, au contraire, on peut parfois les y accompagner pour qu'ils en prennent conscience et les aider à les dépasser. Certains artefacts peuvent étayer (Reiser, 2004) l'apprentissage en structurant ou en suscitant le conflit cognitif : notamment des dispositifs dans lesquels l'erreur est facile à dépasser, tout en capitalisant le travail accumulé ; nous discuterons plus loin les choix qui découlent de cette observation.

### 4.2.4 La question comme principe organisateur en science et en pédagogie

La question est au cœur de la recherche scientifique : il ne peut guère y avoir de recherche sans une question (Hakkarainen & Lipponen, 2002; Scardamalia & Bereiter, 2006) qui guide l'investigation. Une question n'est pas seulement une phrase interrogative, elle est indissociable d'une connaissance qui lui donne du sens : un problème.

> «L'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions que nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement. Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. 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.» (Bachelard, 1947 p. 16)

Une « bonne » question doit donc être construite dans un cadre conceptuel donné sans lequel elle ne peut pas jouer un rôle de guidage de la recherche ou de l'investigation.

Poser les bonnes questions est souvent le résultat d'un long processus de recherche. Par exemple, la question de la localisation de l'ADN dans le noyau est une question récente qui prend du sens maintenant qu'on comprend un peu comment cette localisation est liée à son degré d'expression (Lieberman-Aiden et al., 2009). Personne ne s'y intéressait jusqu'à récemment et ne pouvait se la poser faute des connaissances récentes qui lui donnent du sens.

La question est donc constitutive de la science, mais elle n'existe vraiment en tant que principe guidant la recherche que par rapport à un ensemble de connaissances qui la rendent active. La didactique française conceptualise en termes de problème et de problématisation ce processus de construction (De Vecchi, 2004; De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 2002; Fabre & Musquer, 2009; Giordan & De Vecchi, 1989; Orange, 2005).

Par ailleurs, l'investigation est par définition organisée autour d'une ou plusieurs questions. Ainsi, par souci d'authenticité par rapport à la science comme pour des raisons pédagogiques, nous allons faire un petit détour par la discussion du rôle des questions dans les dispositifs d'enseignement.

Pour l'aider à devenir acteur dans une société de la connaissance, il faut trouver comment amener l'élève à :

> Etre capable de trouver de l'information sur les [sciences] depuis diverses sources et de l'évaluer. D'en communiquer les principes oralement et par écrit, d'une manière

> structurée, pertinente, et en référence aux hypothèses dans lesquelles elle s'inscrit… (Wooley & Lin, 2005) Traduction personnelle.

Que l'élève fasse de la science implique par conséquent qu'il affronte lui-même une diversité de sources et effectue un travail de mise en perspective. On est loin d'une vulgarisation où l'enseignant "simplifie" et synthétise la littérature scientifique qui lui serait d'abord destinée ! En effet, l'élaboration d'une synthèse – notamment écrite (Catel, 2001) – est justement l'activité cognitive qui construit la connaissance chez celui qui la pratique : écouter ou disposer de la synthèse faite par un autre ne remplace pas – et même décourage – cette activité mentale.

Il s'agit donc de susciter un processus focalisé de constructions de connaissances, ce qui nécessite notamment que l'élève « ait une question ». Notre expérience suggère que cela nécessite que deux conditions soient remplies : i) qu'il ait envie de savoir, que la question lui appartienne (on parle de dévolution pour le processus subtil par lequel l'enseignant suscite cette envie de savoir chez l'élève, nous y reviendrons plus bas), ii) qu'il ait compris la question et dispose de suffisamment de connaissances et de contexte pour qu'elle ait du sens. Ces deux conditions sont de fait très exigeantes et rarement remplies.

A ces conditions, l'investigation peut être dirigée par les questions et cela fonde l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs.

Sur la première condition, (Maulini, 2005) montre que le processus de construction des questions – le *questionnement* – peut être abordé selon deux axes : « à qui appartient la question ? » et « qui produit les réponses ? ».

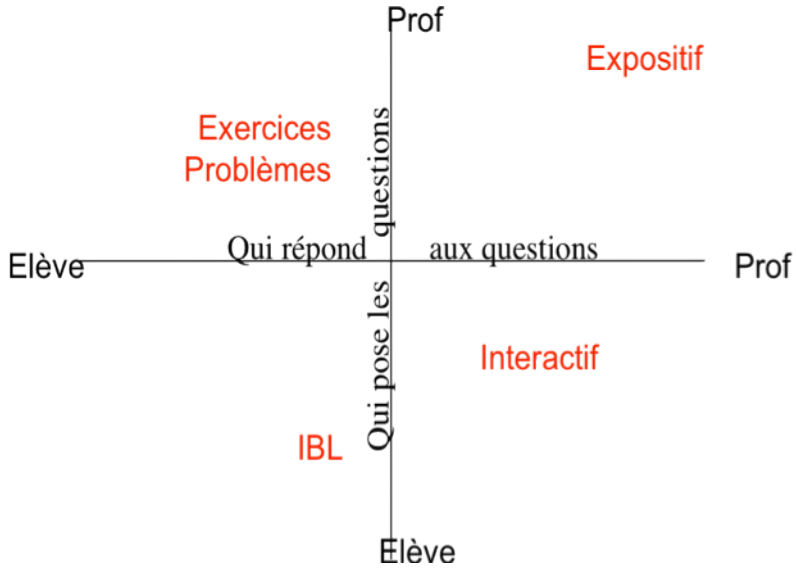



Figure 9 : Les axes du questionnement permettent de situer les activités pédagogiques en termes d'acteurs. Redessiné d'après (Maulini, 2005).

Ainsi nous pensons que l'activité de construction de connaissances qui ont une épaisseur scientifique ne peut vraiment se produire que dans le quadrant où l'élève possède une question et produit principalement lui-même les réponses. Mais cette approche – essentiellement diagnostique – ne nous dit pas grand chose sur les conditions pour obtenir que l'élève s'approprie la question, que la dévolution se produise, ni comment l'étayer pour produire la réponse.

L'autre condition est que l'élève ait compris la question. Une autre difficulté est que les « bonnes » questions apparaissent rarement spontanément.

> Nous nous excusons auprès des amateurs de questions bien posées mais nous estimons que les questions authentiquement importantes sont les questions mal posées. Une question bien posée n'est déjà plus une question, puisqu'elle renferme tous les éléments de la réponse. (Canguilhem, 1955) *in* (De Vecchi, 2006 p. 106)

Une large littérature et les premières implémentations du dispositif dans cette recherche montrent qu'il n'est pas opportun que l'enseignant donne les « bonnes questions », notamment parce que les bonnes questions ne sont bonnes qu'à l'intérieur d'un cadre conceptuel que l'élève n'a pas au départ et dont souvent l'enseignant n'a pas conscience. « Qui n'a pas les concepts ne voit rien, alors que celui qui en dispose... ne sait plus qu'il les a ! » (Astolfi, 2008 p. 42)

Notons qu'il n'y a pas à l'école une tradition forte du questionnement (Maulini, 2005). On y considère souvent les questions comme statiques et on y discute la manière d'y répondre plus que la manière de les construire. Si – d'un point de vue constructiviste – l'on considère que donner la réponse, c'est empêcher l'élève d'apprendre en la cherchant, on peut :

- rejeter les questions,
- répondre en reformulant les questions,
- admettre son ignorance ou proposer un début de réponse,
- encourager à consulter des sources autorisées,
- envisager plusieurs explications possibles,
- envisager des explications possibles ainsi que les moyens de les évaluer et, enfin, considérer des explications possibles ainsi que les moyens de les évaluer et approfondir les évaluations. (Sternberg, Spear-Swerling, Ardois, Hénaff, & Roosen, 2006 p.73) Trad. Personnelle.

Ces manières de répondre mettent en évidence le double rôle de soutien et de stimulation de l'étayage (Reiser, 2004). Dans ces stratégies de réponse, l'enseignant ne facilite pas seulement l'activité de l'élève en orientant l'attention, mais favorise le conflit socio-cognitif qui est difficile. Nous faisons donc la conjecture que pour susciter les questions, il faut prévoir des activités, des ressources qui surprennent, qui fascinent, dans lesquelles « leurs conceptions du contenu qui se trouvent prises à rebours » (Astolfi, 2008 p. 121) et qui sont susceptibles de provoquer des ruptures, des discordances avec les conceptions des apprenants et qui pourront être développées pour produire les changements conceptuels recherchés. Les activités et ressources qui suscitent des questions diffèrent donc de celles qui permettent de trouver les réponses, celles les plus fréquemment proposées en classe. Nous avons souvent trouvé des ressources qui suscitent les questions dans la littérature de vulgarisation scientifique visant un public assez large tels que « Science et Vie » ou « Science et Vie Junior », mais aussi les « News » de *Nature* ou *Science*.

Les premières questions issues de ces activités et lectures sont forcément assez vagues et naïves puisque les élèves ont des connaissances très limitées au début. Depuis ces questions initiales, le dispositif doit guider vers des questions qui sont celles de la discipline, les « bonnes questions », ce qui ne peut se faire que par une progression parallèle où des connaissances plus approfondies conduisent à de meilleures questions qui permettent d'approfondir les connaissances.

> L'accès aux concepts des disciplines nécessite une rupture avec le questionnement spontané pour construire des questions très sophistiquées, lesquelles échappent au sens commun et nécessitent chaque fois une importante ascèse intellectuelle. Mais il faut bien faire un bout de chemin en direction des élèves pour que ceux-ci soient en mesure de comprendre et d'accepter cette rupture indispensable. (Astolfi, 2008 p. 123)

Nous conjecturons donc qu'il faut prévoir dans le dispositif un processus organisé par lequel les élèves construisent leurs questions au fur et à mesure qu'ils approfondissent leurs connaissances. C'est un des fondements de la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. Le processus de construction des connaissances est nommé *questionnement* et plusieurs chercheurs, notamment français, nomment problématisation cette construction des questions en parallèle aux connaissances qui leur donnent du sens (Baron & Bruillard, 2004; Clergue, 1997; Coquidé, 2003; De Vecchi, 2006; Orange, 2005; Schneeberger & Triquet, 2001)

Comment ce processus doit être organisé fait aussi l'objet d'une littérature considérable par exemple (Astolfi, 2008; De Vecchi, 2006; Fabre & Musquer, 2009; Rimaz, 2000; Sternberg, et al., 2006). Nous reprendrons ce point plus bas.

*Les ressources déterminent l'épistémologie et constituent une force centripète*

Les questions des élèves doivent donc guider l'investigation. Ce guidage de l'investigation par les questions est cependant en tension avec la responsabilité laissée aux élèves de leurs questions. Si les questions leur appartiennent, il n'est pas facile de les prescrire, mais si on les laisse libres du choix des questions, l'investigation risque de ne pas vraiment aborder la richesse complexe de la biologie.

Une négociation doit donc permettre une liberté des questions à l'intérieur d'un cadre qui est imposé par l'institution, mais dont l'enseignant est le garant. Cela doit être vrai durant tout le processus de problématisation des questions qui se construisent progressivement dans l'investigation.

Nous verrons que comme certains l'ont suggéré (Hakkarainen & Sintonen, 2002), les questions générales et vagues peuvent conduire à des questions précises dans un processus de différentiation des concepts que Ausubel (1963) appelle *Progressive differentiation*. Nous avons pu voir que le paradigme de la discipline est très présent dans la structure des documents notamment par l'organisation des réponses qu'on y trouve, ce qui oriente le questionnement vers les « bonnes questions » , c'est-à-dire les questions du paradigme de la discipline. En effet, les documents de la discipline expriment le paradigme de la discipline (Kuhn, 1972) donc les documents que les élèves lisent transmettent le paradigme (notamment les questions, mais aussi les méthodes et le type de réponse etc.). Ainsi, des documents authentiques dans le paradigme de la recherche transmettent l'épistémologie de la recherche et un document d'enseignement celle de l'enseignement, c'est en somme le point crucial de la transposition didactique.

Le choix des ressources conduit donc subtilement les questions que les élèves investiguent vers les concepts centraux de la discipline et finalement l'épistémologie de la discipline. Nous parlerons de *force centripète conceptuelle* par le fait qu'en partant depuis un point d'un champ conceptuel, l'investigation converge vers les concepts importants les plus proches dans le paradigme de la discipline. Cela fonde la conjecture CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources.

On doit donc prévoir d'exposer les élèves à des documents qui sont graduellement plus authentiquement scientifiques, c'est-à-dire traitant des mécanismes sous-jacents pour la biologie et qui posent les problèmes dans les termes de la science (débat, discussion des conclusions sur la base des résultats et à la lumière des hypothèses etc.). Le problème du guidage des élèves devient alors lié au choix des documents et non seulement des questions. Or – nous l'avons discuté plus haut – le choix des documents et des questions doit être dévolu aux élèves pour qu'il y ait investigation (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves).

Le dispositif doit être organisé pour que l'ensemble des élèves s'approprie les questions qui guident l'investigation, mais aussi pour leur permettre de trouver des réponses pertinentes au contact de ressources authentiques qu'ils ne connaissent ni ne comprennent au début de l'investigation. C'est un paradoxe.

*Le paradoxe de la liberté des élèves dans l'investigation face aux contraintes curriculaires*

Le guidage de l'investigation par les questions est ainsi en tension avec la responsabilité laissée aux élèves de leurs questions. Si les questions sont dévolues aux élèves, on ne peut pas les prescrire, mais si l'enseignant ne détermine pas le choix des questions, l'investigation risque de passer à côté des concepts complexes qui sont au cœur de la biologie : les mécanismes sous-jacents qui sont les « bonnes » questions dans le paradigme actuel. Ces questions sont implicites dans les réponses que les ressources authentiques fournissent, mais les questions triviales – celles que les néophytes posent au début d'une investigation – ne conduisent pas automatiquement vers de telles ressources, elles risquent plutôt de conduire vers des ressources aisément disponibles qui suscitent des questions descriptives ou hors du champ de la biologie. On ne peut donc pas attendre que l'investigation conduise spontanément les élèves vers les bonnes questions et qu'ils parcourent le champ prescrit par le curriculum (Crahay, 2006 p.129).

Les premières implémentations et itérations du dispositif ont montré que ce paradoxe est soluble par une subtile négociation autour des meilleures questions qui conduisent vers les meilleures ressources qui suscitent de meilleures questions. Comme un algorithme qui converge, c'est surtout l'amélioration qui compte plus que l'état du système au départ. Cela fonde en partie l'élément de design ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, qui résume une condition essentielle du *knowledge building* (Bereiter, 2002; Scardamalia & Bereiter, 2006) : un climat de *knowledge improvement* qui sera discuté dans la section 4.2.7 (p. 75).

La responsabilité pédagogique de l'enseignant est donc de veiller à ce qu'apparaissent – ou de faire apparaître au bon moment – des questions i) assez bonnes pour faire avancer l'investigation mais ii) encore à leur portée. De même, il a la responsabilité d'exposer les élèves à des ressources assez authentiques pour faire progresser l'investigation, mais suffisamment accessibles pour qu'ils puissent en faire usage. Cet étayage de l'investigation doit être fait tout en leur laissant la responsabilité des questions. On retrouve la distinction entre autorité pédagogique et autorité scientifique. ED26 : L'autorité pédagogique peut être inscrite dans la structure du design afin de délimiter un cadre qui délimite mais donne la liberté aux élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle.

Cela nous a paru possible grâce à une négociation des questions entre les élèves et l'enseignant : (ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs), en référence explicite aux objectifs (ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis), et où les ressources les plus fécondes pour répondre aux questions sont rendues aisément accessibles (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources, ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène) ou suggérées par l'enseignant (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes).

Puisque les questions traitées se construisent en interaction avec les ressources et conduisent ainsi vers le paradigme correspondant, nous formulons la conjecture qu'une négociation des questions, des ressources authentiques proposées au bon moment et rendues aisément accessibles permettent le guidage de l'investigation tout en respectant la dévolution. CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces

ressources ainsi que ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène.

Une condition est que l'ensemble de la communauté apprenante (enseignant, élèves) partage un but commun de construction de connaissances : ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté.

### 4.2.5 **La question prend du sens dans une production**

A partir de l'analyse de nombreux modèles d'enseignement, nous avons développé un modèle *Matrioshka* ou "poupées russes" déjà publié ailleurs (F. Lombard, 2008).

La manière dont ce modèle a été implémenté sera développé dans la section résultats, mais la nature itérative de la méthodologie DBR implique que l'analyse d'une implémentation du design conduit à une conceptualisation affinée et des changements sont réinjectés dans l'implémentation suivante. On peut dire que l'analyse des effets des conjectures détermine de nouvelles conjectures, c'est-à-dire que la modification d'une ou plusieurs recommandations de design peut se produire après son identification. Nous présentons donc ici notre conceptualisation qui fait la synthèse des réflexions empiriques issues de l'observation du design et de la littérature consultée.

Pour nous, la question du tri de l'avalanche d'information ne devient soluble que dans la perspective d'une production qui fasse du sens pour les élèves et dans lequel les questions apparaissent. Un élève – mais aussi un enseignant, un avocat ou un plombier – ne trie pas *pour trier*. On cherche à traiter des questions si l'on veut réaliser un texte ou une autre production. On écarte l'inutile en fonction de la question que l'on cherche à traiter dans un document de révision d'examen, un poster, ou – pourquoi pas – un blog, etc.

Nous pensons que les enseignants n'ont, en général, pas conscience qu'ils trient et sélectionnent en fonction de productions que sont les documents ou les exposés envisagés. Ce serait cohérent avec l'analyse de (Huberman, 1986) sur l'utilisation des connaissances (dans le sens *savoirs* comme nous l'entendons dans ce texte) par les enseignants. Il y démontre indirectement qu'il y a un réel tri des informations et discute les caractéristiques de celles retenues (orientation pragmatique, connaissances - recettes, sources personnelles, utilisation localisée, centration sur les objectifs expressifs, compatibilité des valeurs, modèles apostoliques). En particulier l'orientation pragmatique. « Du fait des pressions et des contraintes de la vie en classe, les enseignants s'orientent vers des connaissances dont la forme et la source prédisent un emploi utilitaire. » (Huberman, 1986 p 158). Cela nous paraît conforter l'idée qu'un enseignant trie ce qu'il lit et voit en fonction des usages en classe. Cependant nous n'avons pratiquement jamais noté cette orientation dans la littérature sur l'usage d'internet, les travaux de recherche avec les élèves, la formation de l'esprit critique et du tri, etc. Dans les nombreuses interactions que nous avons eues au cours des années avec des enseignants et les formateurs impliqués dans ces domaines non plus. Aussi, nous pensons que l'enseignant n'en a en général pas conscience.

Nous avons trouvé dans plusieurs champs de recherche un étayage de cette idée. (Bereiter, 2002) parle d'artefact conceptuel (cf. 4.4.2 p. 118) dans lequel la discussion et la co-construction de savoirs permettent la production de connaissances individuelles. La recherche du conflit socio-cognitif (Doise & Mugny, 1981) nous paraît impliquer l'idée d'une production dans laquelle des interactions écrites et orales se produisent. Enfin., la plupart des pédagogies constructivistes soulignent l'importance d'une production (Joyce, et al., 2000) qui oriente l'activité des élèves. Dans le modèle Matrioshka, l'alignement des objectifs, activités, évaluation que (Brophy & Good, 1986) et de nombreux autres ont relevé comme facteur d'efficacité des enseignements est ainsi étayé. La conception (par allers-retours) depuis les objectifs est défendue par (Wiggins & McTighe, 1998) avec le modèle « *Backward design* ».

Notre modèle est donc une métaphore qui peut aider à discuter certaines caractéristiques des designs éducatifs.

Le modèle *Matrioshka* ou "poupées russes" (F. Lombard, 2007) propose que du point de vue de l'enseignant qui conçoit une activité, on parte des objectifs (première poupée) qui seront habillés sous forme de questions (deuxième poupée). Celles qui focaliseront la recherche et permettront le tri. Ensuite on cherche quel type de production (troisième poupée) valable pour les élèves peut donner du sens à ces questions. Il en découle que le rôle de l'enseignant est d'abord de susciter des questions qui soient fécondes, sans donner des réponses qui stérilisent le questionnement, de veiller à ce que les élèves aient des questions, ce qui signifie pour nous qu'ils les ont comprises et qu'ils s'en sentent responsables. Ensuite le travail d'accompagnement les élèves pour trouver des réponses est une autre question mieux balisée dans la recherche. Cette réflexion fonde l'élément de design ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe.

### 4.2.6 L'élève construit des connaissances à partir de ressources surabondantes ?

Traditionnellement, l'enseignant propose des documents dont il estime que le niveau de formulation est adapté aux élèves. L'élève ne peut guère pratiquer la validation qui est au cœur de la science, puisque ces documents sont déjà validés par l'institution ou l'enseignant et leur connaissance détermine en général le succès aux examens.

La surabondance d'information offre aussi l'opportunité d'accéder à des ouvrages académiques en ligne. Certains des documents auxquels les élèves ont accès par internet sont normalement destinés à un public académique, tels que (B Alberts, et al., 2002) pour la biologie cellulaire, (Janeway, et al., 2001) pour l'immunologie, ou (Purves, et al., 2001) pour la neurobiologie. Nous qualifierons ces documents de *plus authentiques* que les documents édités spécialement pour l'école et reconnaissables comme tels. En somme, la transposition didactique interne encourage le recours à des documents qui sont plus dans le paradigme et moins transposés pour l'école.

Leur accès peut fournir des réponses à des questions qui ne sont pas habituellement traitées dans les ouvrages scolaires et que l'investigation a soulevées, voire permettre une compréhension plus approfondie des mécanismes sous-jacents ; cela permet souvent de combler les « trous noirs » de l'enseignement de la biologie.

Puisque nous cherchons des activités menant progressivement l'élève à évaluer les informations par la confrontation à d'autres textes, il peut être amené à approfondir en remontant vers l'information d'origine. C'est-à-dire être amené à trouver dans les publications scientifiques plus authentiques les réponses aux questions qu'il s'est posées lors de la lecture de la presse vulgarisée. Il ne s'agit pas – bien sûr – de faire lire en entier des revues aux élèves les plus jeunes, mais de les accompagner, de les guider pour trouver des réponses à des questions précises que l'investigation a suscitées. Bien étayé par un dispositif structurant, trouver la réponse à une question précise dans un *abstract* d'une revue scientifique est à la portée d'un lycéen motivé. La trouver, la valider parmi de nombreuses autres et la synthétiser dans un texte sur lequel comptent les pairs développe plus cette épaisseur métacognitive caractérisant la science que si l'enseignant lui en donne une synthèse toute faite.

On peut noter aussi que la surabondance de ressources révèle les limites d'une vision exhaustive des savoirs scolaires comme un stock de faits (l'épistémologie « naïve » de Bromme) dont la connaissance réduirait le chemin encore à parcourir pour savoir « tout ». Le contrat didactique implicite d'apprentissage exhaustif de documents prescrits découle de cette épistémologie naïve et nous semble être une composante fréquente du cadrage épistémique, la « lentille déformante » à travers laquelle l'élève voit la tâche qu'on lui propose. S'il s'agit de connaître complètement les ouvrages qui sont proposés aux élèves, la tâche est d'autant plus intimidante que l'ouvrage est conséquent.

Munis de stratégies de sélection de ressources efficaces et de questions pour guider leurs recherches, de tels ouvrages conséquents sont au contraire plus rassurants : on est plus sûrs d'y trouver les savoirs que l'on cherche.

Par ailleurs, les savoirs non prescrits que l'on trouve dans ces ressources d'étendue quasi illimitée peuvent être un défi pour l'enseignant : des élèves motivés peuvent y trouver des savoirs complexes que l'enseignant ne maîtrise pas, qui sont formulés en des termes avec lesquels il n'est pas familier, ou qui s'inscrivent dans des contextes théoriques qu'il ne connaît pas. Cette complexité est particulièrement une menace dans le cadre d'une vision de l'enseignant comme transmetteur de savoir et lorsque son sentiment de compétence professionnelle est liée à sa connaissance disciplinaire face aux élèves. C'est au contraire une satisfaction professionnelle dans le cadre d'une vision du rôle de l'enseignant comme tuteur si les élèves construisent des connaissances solides par ces moyens.

Ainsi, dès que le dispositif offre d'une manière ou d'une autre aux élèves l'accès à internet en classe, cette complexité ne peut plus être ignorée et le risque que les élèves, voire l'enseignant, soient débordés par une information surabondante devient critique, nous l'avons vu (Paquette, 2002a).

En effet, la complexité de la tâche représente un défi pour les élèves novices : sans stratégies efficaces, il est très difficile –même à de jeunes adultes (Rouet, 2006) – de construire des connaissances et le risque de désinvestissement des élèves est grand parce que le sentiment de compétence face à la tâche serait réduit par des échecs dans les tâches proposées.

Un dosage du degré de perturbation que le dispositif produit chez l'élève devra veiller à les maintenir dans la zone proximale de développement (Vygotsky, 1962) et des dispositifs technopédagogiques adaptés peuvent contribuer à soutenir efficacement l'élève. Ces réflexions fondent en partie la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme.

*Quelles formes doit prendre et quel degré de soutien doit offrir l'étayage au cours du temps ?*

L'étayage des activités de l'étudiant est une des interventions les plus fondamentales de l'éducation (Vygotsky, 1978) ; Bruner cite notamment : la réduction des degrés de liberté, le maintien de l'orientation, la signalisation des caractéristiques déterminantes, (Bruner, 1960). Ces interactions soulagent l'élève d'une part de la complexité de la tâche et visent à faciliter l'apprentissage. Il faut cependant distinguer (Reiser, 2004) le soutien à la réalisation de la tâche et le soutien à l'apprentissage qui correspondent à une focalisation sur le produit ou sur le processus discutés plus haut.

Paradoxalement, le soutien à l'apprentissage peut rendre la tâche plus difficile (Reiser, 2004 p. 288) en favorisant la confrontation des élèves à des tâches de difficulté adaptée avec peu de soutien à la réalisation, ralentissant la réalisation mais développant les apprentissages. Il parle alors d'étayage qui « problématise », que nous reformulons en termes de susciter le conflit socio-cognitif : obliger l'élève à expliciter par l'écriture, obliger à décider, faire apparaître les lacunes et les incohérences. L'étayage peut donc parfois prendre la forme d'un retrait de l'aide attendue : s'abstenir de donner une réponse tout en guidant vers des ressources, par exemple.

Puisque la connaissance se construit par les perturbations que le milieu induit dans le système de pensée de l'élève, il faut bien assumer de lui causer un certain inconfort qui lui permette, voire le pousse à dépasser des stratégies d'apprentissage bien rôdées, mais qui conduisent à des apprentissages dépourvus de l'« épaisseur » métacognitive qui caractérise la science.

Ainsi l'étayage structurant est, d'une certaine manière, paradoxal puisqu'il est nécessaire au début mais risque de rendre l'élève dépendant de ce soutien et de l'enseignant. Le soutien peut donc devenir un frein à l'autonomisation de l'élève.

Le dispositif doit ainsi offrir au début un étayage très solide par la réduction des degrés de liberté (Bruner, 1960) – par exemple proposer un choix de sources, proposer une structure pour l'écriture et aider à formuler des questions précises, etc. Ce soutien doit s'effacer progressivement : *fading out scaffolding* (Pea, 2004) et on peut même proposer un étayage qui ne facilite pas du tout : encourager, voire obliger les confrontations avec le problème ou la complexité (Reiser, 2004 p. 290). Un tel étayage peut stimuler et conduire les élèves à sélectionner eux-mêmes, à valider, à synthétiser et à défendre devant ses pairs, ce qui favorise les apprentissages.

> *Although making the task more difficult in the short term, by forcing learners to engage with this complexity, such scaffolded tools make this work more productive opportunities for learning.* (Reiser, 2004 p. 273)

La nécessité de tendre vers l'autonomie est particulièrement importante dans les sciences : si l'on souhaite apprendre à l'élève à valider lui-même, il faut bien l'encourager à oser défendre ses idées, ses choix et ses raisonnements, mais si on veut qu'il évalue des documents qui sont « justes » parce que prescrits, il est difficile qu'il en voie le sens. Si l'on veut qu'il sache argumenter, il faut qu'il ait l'occasion de défendre ses idées, si l'on veut qu'il apprenne à construire ses idées, il ne faut pas les lui fournir parfaitement formulées et sélectionnées, si l'on veut qu'il apprenne à synthétiser, on ne peut pas lui donner des documents où les idées sont complètement synthétisées et trop faciles à apprendre *par cœur*.

Il est probable que les élèves parvenus à ce niveau d'études – fin du secondaire – soient très efficaces dans leur « métier d'élève » (Perrenoud, 2004) et résistent à ce nouveau contrat didactique qui remet en question des stratégies rassurantes : l'apprentissage est toujours une remise en question inquiétante.

C'est qu'il y a une tension entre la construction des connaissances par l'élève et le souci d'atteindre les savoirs que l'institution reconnaît comme adéquats.

> *… Each teacher navigates a set of trade-offs to balance, on the one hand, opportunities for students to actively develop their own ideas, and on the other, their concerns that students develop normative understandings* (Sandoval & Daniszewski, 2004 p. 161)

On peut aussi prévoir que certains résultats soient en baisse dans un premier temps : par exemple, (Etkina, Karelina, & Ruibal-Villasenor, 2008) observent une légère baisse de plusieurs des compétences testées avant de les voir remonter. On peut s'attendre à de tels effets dans un premier temps, peut-être parce que les élèves sont déstabilisés, n'ont pas encore intégré le contrat didactique ou n'ont pas encore développé la confiance dans le dispositif nécessaire à leur investissement. (Songer, 2006 p. 359) estime que l'investigation prend du temps pour déployer ses effets et que la brièveté de nombreuses recherches sur l'investigation n'ont pas permis d'en étudier les potentiels d'apprentissages scientifiques qui se développent sur plusieurs semaines. C'est en tous cas ce que montrent (Etkina, et al., 2008) à propos d'un dispositif développant les compétences scientifiques chez des étudiants dans des cours d'introduction à la physique à l'université : il faut 5 à 8 semaines selon les compétences visées (identifier les sources d'incertitude expérimentale, identifier les présupposés dans les modèles employés, identifier la manière dont ils affectent les résultats, distinguer prédiction et hypothèse, …).

Nous conjecturons donc qu'une certaine durée est nécessaire pour que i) le dispositif développe ses effets, ii) les élèves et l'enseignant parviennent à construire un autre contrat didactique et iii) les effets s'en fassent sentir. En effet, un contrat aussi inhabituel à beaucoup de points de vue, doit être investi progressivement par l'enseignant et les élèves parce que le cadre épistémique et les représentations de ce qui est attendu doivent être construits et stabilisés. Cela fonde l'élément de design ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré.

L'enseignant « doit donc communiquer ce savoir sans avoir à le dévoiler, ce qui est incompatible avec une relation contractuelle. » (Brousseau & Balacheff, 1997 p. 325). Cette autonomisation implique donc une dévolution qui est paradoxale comme l'exprime bien cette formulation « Que voulez-vous que l'élève veuille ? » (Barchechath & Pouts-Lajus, 1990).

En somme, nous conjecturons qu'il faudra bien progressivement sevrer l'élève de la rassurante validation par l'enseignant et de la prescription de documents bien choisis. Cela fonde en partie l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves.

La tension entre le soutien, l'étayage nécessaire pour que l'élève réussisse et l'espace d'autonomie qui lui permet de prendre en charge son apprentissage est une variable importante : un soutien immédiat trop prévenant peut empêcher l'autonomisation, alors qu'une absence de soutien peut faire douter de son sentiment de réussite et induire une démotivation : le soutien doit donc être très finement ajusté « The demand-adaptation-rate parameter » (Van Geert & Steenbeek, 2005 p. 124).

Au fur et à mesure que l'élève apprend, par souci d'autonomisation, le soutien doit être progressivement retiré : on parle de *"fading out of scaffolding"* (Pea, 2004). La qualité des explications scientifiques devrait s'améliorer avec la progressive disparition du soutien *"Fading scaffolds better prepares students to become scientifically literate in that they are able to engage in scientific inquiry practices such as the construction of scientific explanations."* (Pea, 2004)

La littérature suggère (Bransford, et al., 2000; Bruner, 1960) que l'étayage peut porter sur :

- Des consignes claires qui réduisent le désarroi, guident dans les activités et explicitent ce qui est attendu et préviennent des problèmes prévisibles (réduction de la frustration et réduction des degrés de liberté).
- Expliciter les raisons et le sens : l'étayage aide l'apprenant à comprendre le sens de ses activités et des objectifs (enrôlement, signalisation des caractéristiques déterminantes).
- Mettre en évidence ce qui est significatif. L'étayage fait apparaître les caractéristiques importantes pour l'apprentissage dans l'activité (réduction de la frustration et signalisation des caractéristiques déterminantes).
- Maintenir la focalisation : l'étayage détermine l'ampleur de la liberté laissée et cadre les espaces d'interaction dans lesquels l'apprenant peut apprendre (maintien de l'orientation).
- Orienter les élèves vers des ressources pertinentes (réduction de la frustration et signalisation des caractéristiques déterminantes).

Un étayage sur ces caractéristiques permet de rester dans la zone proximale de développement mais doit progressivement s'effacer au fur et à mesure que cette zone s'étend afin de permettre le développement de l'autonomie.

Nous recherchons un modèle d'enseignement menant progressivement l'élève à évaluer les informations par la confrontation à d'autres textes, à approfondir en remontant la transposition didactique vers l'information d'origine. C'est-à-dire à trouver, dans les publications scientifiques plus authentiques, les réponses aux questions qu'il s'est posées à la lecture d'ouvrages scolaires transposés ou de textes vulgarisés. L'enjeu est la construction – accompagnée, structurée et encadrée – de connaissances scientifiquement étayées.

### 4.2.7 *Knowledge Building:* une pédagogie congruente avec la science

Nous avons vu que Bereiter et Scardamalia proposent d'aborder l'apprentissage comme une construction : *Knowledge Building*. Au cœur de cette approche pédagogique se trouve l'idée qu'apprendre, c'est contribuer à l'amélioration de la connaissance – au moins la connaissance locale. Nous avons évoqué combien cette idée est en rupture avec les pratiques scolaires

habituelles. Nous pensons qu'elle est un objectif fondamental de l'éducation et pleinement cohérent avec le développement de connaissances scientifiques.

Bereiter explicite les caractéristiques d'une pédagogie de l'amélioration de la connaissance :

> *From this commitment to knowledge improvement flow a number of distinctive characteristics of what I have called progressive discourse (Bereiter, 1994):*
>
> *1. Focus on conceptual artifacts. All serious discussions involve ideas, but it is not so common for the ideas themselves to become objects of discussion. […].*
>
> *2. Improvability as a positive attribute of conceptual artifacts. I owe to Marlene Scardamalia the realization that not all conceptual artifacts are improvable. The clichés of education tend not to be: "Every child is different." "Children's minds are not empty vessels waiting to be filled." It is not just that such statements are irrefutable. They act as thought stoppers. Having assented to them, one has no place to go. There is no forward direction. An improvable conceptual artifact, by contrast, is likely to strike us as interesting, at least somewhat unsettling to our existing beliefs, and as raising questions and having implications beyond those that are immediately apparent. […] A commitment to knowledge advancement accordingly entails a commitment to formulate conceptual artifacts that are improvable-hence, vulnerable to criticism and disconfirmation.*
>
> *3. Common understanding given priority over agreement. In politics and other practical affairs, it is often advantageous to have vague principles that you can get people to agree to even though they understand them differently. In knowledge-building discourse, however, agreement without common understanding is pointless, and one of the more discouraging things that can happen is to find that people who endorsed your ideas turn out not to have understood them. On the other hand, when there is mutual understanding of the ideas under discussion, there is a basis for productive discourse even if there are major differences of opinion.*
>
> *4. Commitment to expand the factual base. Even though people may disagree seriously, there are bound to be some facts on which they do agree, and these form a necessary basis for progressive discourse. Facts constrain ideas. Opposing theories may be compared to the extent that they attempt to explain the same facts (Thagard, 1989). Accordingly, people committed to knowledge advancement have a stake in expanding the set of accepted facts, while recognizing that any factual statement is itself a conceptual artifact open to criticism and improvement. This is quite a different commitment from that which prevails in formal debates and in court trials, where part of the strategy for success is to undermine as many as possible of the opponent's factual claims.*
>
> *5. Selective criticism based on knowledge-advancement goals. Sophomoric criticism is criticism disconnected from purposes of advancing knowledge. […]. A commitment to constructive criticism is not a commitment to being gentle or to making only positive suggestions. It is a commitment to using criticism in the service of knowledge advancement.*
>
> *6. Nonsectarianism. No one expects complete impartiality, even in high court judges and Nobel Laureate scientists. What can be expected of those seeking to advance knowledge, however, is that they will not adhere to sects that actively limit the scope of ideas to be entertained or tested. […]* (Bereiter, 2002 p. 88)

Nous les reformulons et les adaptons ainsi :

- Une focalisation sur les artefacts conceptuels : nous dirons discuter et mettre en perspective les modèles. (Cela fonde en partie : ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe,

ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur et ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé)).

- Le choix de modèles ouverts, améliorables ("Improvability as a positive attribute of conceptual artifacts") (Cela fonde en partie : ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances).
- Un débat basé sur la compréhension des idées et leur confrontation (« Common understanding given priority over agreement » et « Selective criticism based on knowledge-advancement goals ») (Cela fonde en partie : CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage et ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel).
- Un engagement à baser ses connaissances par les liens logiques à partir des données et à élargir le corpus de données sur lesquelles on s'appuie (« *Commitment to expand the factual base* » et « *Nonsectarianism* ») (Cela fonde en partie : ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis, ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène).

On voit, dans cet énoncé, combien les fondements de cette pédagogie sont très congruents avec la construction de connaissances scientifiques. Nous retenons une orientation fondamentale de *Knowledge Building* que nous traduisons par « but partagé d'amélioration de connaissances ». Ce but constitue une conjecture centrale : une variable de climat cruciale pour mobiliser l'investigation, pour donner la dynamique qui anime les autres facteurs du dispositif (ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté).

Cependant, en anglais, le terme *Knowledge* englobe connaissances et savoirs que ces textes ne distinguent pas très clairement. Nous considérons qu'il y a en fait deux étapes : i) la production *commune* de savoirs nouveaux (au moins dans la classe), qui ont une validité construite par la classe selon des processus que nous décrirons plus bas, qui se manifeste dans la production d'un artefact commun, et ii) la connaissance individuelle qui est développée par les interactions dans la production de cet artefact, sa discussion et individuellement avec ces savoirs lors de la préparation des examens.

### 4.2.8 **L'institutionnalisation**

Dans l'investigation où de nombreuses idées sont évoquées et confrontées, ce qui pourrait produire un certain désarroi chez les élèves, la nécessité d'une phase d'institutionnalisation des savoirs est particulièrement forte. Dans une première acceptation, l'institutionnalisation est une sorte d'aboutissement de l'activité où les savoirs prennent un statut particulier en rapport avec les examens.

> L'institutionnalisation fixe le savoir pour la classe et induit un changement de statut de l'objet enseigné. […] à la suite d'une activité, l'institutionnalisation se fait généralement par un processus de généralisation qui peut être finalisé par l'évaluation finale, exemplifiée ou basée sur l'utilisation de supports matériels; en fin de séquence, l'institutionnalisation globale porte sur l'ensemble des dimensions de l'objet. (Auxquelles

> sont souvent ajoutés des éléments syntaxiques et orthographiques). Elle est directement liée à l'évaluation. (Bucheton & Dezutter, 2008 p. 105)

Cela fonde l'élément de design ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation.

Cependant, pour bien distinguer un simple énoncé de ce qui devrait être appris par cœur pour l'examen de l'institutionnalisation conçue comme la construction de connaissances et la délimitation de savoirs plus généraux et pour mettre en évidence la nature métacognitive (au sens réguler ou développer des stratégies d'apprentissages) de ce processus, précisons qu'il s'agit de :

> Ré-evoquer les activités antérieures, à les mettre en relation et à construire avec la classe des invariants plus larges. … [Pour permettre] une synthèse à partir d'un ensemble de situations de référence afin de dégager des relations à caractère plus général, c'est-à-dire un savoir. (Astolfi, 2008 p. 162)

En somme, il s'agit d'aider l'élève à prendre conscience de ce qu'il connaît ou doit connaître, d'en délimiter les contours et le champ d'application, de le rendre vivant et applicable dans d'autres contextes.

Nous avons évoqué plus haut et reviendrons dans les choix méthodologiques sur la méfiance très grande particulièrement des milieux socioculturels d'où proviennent les élèves de cet établissement. Aussi, c'est surtout l'efficacité en termes de contenus acquis, de résultats aux études ultérieures et généralement d'apprentissage de la biologie qui ont été mis en avant dans un premier temps. Nous faisons la conjecture d'inspiration *minimaliste* (Carrol, 1998) que pour maximiser la confiance accordée au dispositif par les élèves, il faut lui laisser faire ses preuves d'abord. En conséquence, nous avons fait la conjecture qu'une communication centrée sur les contenus disciplinaires et visibilisant la production des savoirs devrait précéder une discussion métacognitive des stratégies d'apprentissage. Cela fonde les éléments de design ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis et ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages et ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation.

La nécessité de prévoir des moments pour faire ce travail métacognitif qui aide à prendre conscience de l'efficacité des dispositifs d'investigation est manifeste, la discussion des moments opportuns se poursuivra plus bas.

## 4.3 Review des designs pédagogiques pour la construction de connaissances scientifiques et justification du choix de l'investigation IBL

Au début de cette recherche, nous avons procédé à un examen des modèles proposés pour l'enseignement des sciences et de la biologie en particulier, pour déterminer si un consensus se dessinait, et identifier les tendances et courants : nous verrons qu'il n'y a guère de consensus – au delà d'une intention affichée de la développer – d' « authenticité » qui a presque autant de sens différents que d'auteurs. Aussi nous commencerons par une définition des modèles pédagogiques avant de développer notre compréhension de l'authenticité pour présenter ensuite une petite synthèse des modèles d'enseignement qui ont été analysés.

### 4.3.1 Définir modèle et design pédagogique

Enseigner peut être décrit fondamentalement comme l'organisation d'environnements avec et dans lesquels les élèves interagissent, et ce sont ces interactions qui produisent l'apprentissage.

C'est clairement une vision constructiviste, inspirée de Piaget et d'autres comme nous l'avons discuté plus haut. Plus spécifiquement, en didactique des maths, Guy Brousseau propose avec sa

théorie des situations didactiques un cadre de réflexion – une modélisation – en termes de milieu et de contrat didactique (Brousseau, 1998). Pour lui, ce sont les contradictions, les difficultés, les déséquilibres induits par l'environnement qui produisent l'apprentissage. Du coup, le rôle de l'enseignant est d'abord de mettre en place des situations qui rendront nécessaires et possibles les adaptations souhaitées. Etayer l'apprentissage n'est donc pas toujours simplifier les savoirs mais passe parfois par rendre inconfortable l'environnement cognitif des apprenants.

Ces environnements sont constitués –selon les auteurs – des ressources documentaires et matérielles d'observation et d'expérimentation, des consignes ou règles et de la manière dont elles sont comprises, des horaires et des lieux, mais tout particulièrement de la nature des interactions dans le système avec l'enseignant et les autres élèves.

Pour un biologiste, l'analogie est facile avec l'écologie et l'évolution où on analyse la manière dont les interactions d'une espèce avec son environnement et les autres espèces déterminent l'adaptation. Et où les modifications de l'environnement qui se produisent ou que l'homme effectue – notamment la sélection des animaux familiers ou de la ferme – induisent des adaptations de l'espèce. Il est intéressant de noter que l'adaptation résulte de l'action plus ou mois consciente de l'agriculteur et est – en partie au moins – génétique, sans pourtant qu'il agisse sur les gènes eux-mêmes et pendant des millénaires sans même qu'il connaisse l'existence des gènes. Nous voyons dans cette action du milieu sur les organismes qui s'y adaptent une belle métaphore de l'action enseignante : il met en place et ajuste en permanence des environnements qui sont optimalement perturbants pour inciter les élèves au changement conceptuel. L'analogie met bien en évidence la part de liberté de l'apprenant qui peut résister et la nécessité d'adapter le degré des perturbations. De même que dans l'évolution ce sont les changements modérés qui font évoluer plus vite et les milieux stables qui conduisent à des espèces stables, sans stimulation qui remette en question la pensée, il n'y a pas d'apprentissage. Cependant si on applique des situations trop déstabilisantes, l'élève « décroche », on n'est plus dans la zone proximale de développement (Vygotsky, 1978).

Toutefois, la métaphore a ses limites : on a affaire à des individus pensants, parfois capables de produire eux-mêmes ces perturbations génératrices d'apprentissages. Et nous savons que l'application des théories darwiniennes en sciences sociales suscite des réactions fortes, notamment la crainte qu'on l'emploie pour justifier l'eugénisme. Nous laisserons donc là cette métaphore comme un artefact conceptuel (Bereiter, 2002) qui nous a aidé à discuter un aspect des théories d'apprentissage : comment le milieu influence la manière un élève apprend.

Ainsi, nous pensons qu'on peut analyser la classe en examinant les interactions dans des espaces d'apprentissage et donc qu'une description des paramètres importants de ces espaces devrait permettre de décrire le milieu suffisamment pour discuter des liens entre des modifications du milieu et les modifications des effets éducatifs.

Nous avons vu que la plupart des enseignants résistent à l'idée qu'on puisse formaliser ce qui se passe en classe, parce qu'ils ont le sentiment que chaque classe est unique et que son fonctionnement est fondamentalement imprévisible :

> Ainsi, le lien entre enseignement et apprentissage réel reste flou. En d'autres termes, l'enseignant ne peut jamais être certain des raisons exactes de la réussite ou de l'échec de son action pédagogique. […]. Cette instabilité des effets résulte de plusieurs causes, dont le contrôle échappe souvent aux enseignants et aux cadres pédagogiques. Par exemple, les textes, les manuels et les cahiers peuvent changer d'une année à l'autre. Ou bien un groupe-classe ne ressemble ni à celui de l'année précédente, ni à celui qui viendra deux ans plus tard. A ce propos, les enseignants évoquent souvent la « personnalité » ou le « caractère » d'une classe, phénomène qui est confirmé par des observations systématiques;

> les coefficients de stabilité sont faibles entre une année et une autre voire entre une période de l'année et une autre. (Huberman, 1986 p. 157)

Cependant, l'argument de la difficulté à prédire les apprentissages en classe n'empêche nullement une analyse *a posteriori*, qui est probablement très rare.

L'analyse *a priori* consiste à déterminer le milieu auquel l'élève est confronté (Brousseau, 1998). C'est donc d'abord un outil pour décrire la situation prévue, qui prépare l'observation et prend tout son sens avec une analyse a posteriori. En somme, l'analyse *a priori* explicite les attentes pédagogiques que nous appellerons des conjectures au sens « explication anticipée qui attend sa vérification, soit de l'expérience, soit du raisonnement » et ne reprenant un terme beaucoup employé dans le cadre de notre méthodologie (Sandoval, 2004).

Ensuite, une analyse *a posteriori* permet de vérifier ces conjectures. Il s'agit en particulier – en nous inspirant de (Schön, 1994) – d'expliciter les modèles d'action implicites (les conjectures portent sur les effets éducatifs attendus du dispositif mis en place) pour revenir sur ses modèles d'action après l'activité et l'observation.

> "Un des moyens de l'ingénierie didactique consiste à construire un processus d'apprentissage d'un contenu fixé en s'appuyant sur des hypothèses théoriques, à faire une analyse a priori des effets possibles, à observer les effets produits et à les comparer aux prévisions. C'est ainsi que très vite la notion d'ingénierie didactique s'est transportée au sein même de la recherche". (Mercier & Salin, 1988 p. 203)

Pourtant, la formalisation de ces designs en « modèles » et leur classification en catégories ont déterminé toute une littérature et reposent sur l'idée qu'il y a une part de généralité sous-jacente dans le fonctionnement des systèmes enseignant – ressources – classe. Un exemple remarquable qui recense les modèles pédagogiques est l'ouvrage de (Joyce, et al., 2000) pour lequel, un modèle est une description d'un environnement d'apprentissage.

Nous pensons que ces modèles peuvent être féconds pour analyser les dispositifs et que la recherche des caractéristiques les décrivant de manière rigoureuse permet d'étudier les effets de paramètres décisifs et peut conduire à des recommandations quant aux effets prévisibles de certaines interventions : des règles ou recommandations de design de portée déterminée mais assez générale. C'est le postulat qui fonde l'ingénierie pédagogique.

Tentons de définir plus précisément le terme de dispositif pédagogique. « Un dispositif est une instance, un lieu social d'interaction et de coopération possédant ses intentions son fonctionnement matériel et symbolique enfin ses modes d'interactions propres. » (Daniel Peraya, 1999). Nous le comprenons comme proche du concept de milieu de Brousseau. Nous retenons en particulier que les interactions sont au cœur de la réflexion et que l'enseignant est un élément du système; il est donc partie prenante des interactions qui interviennent sur lui autant qu'il intervient sur le système. C'est un système très fortement intégré et par conséquent le focus de l'observation doit être l'ensemble du dispositif et non seulement les élèves. Nous notons aussi que le cadre dans lequel s'inscrit le fonctionnement subit et contraint les interactions.

En ingénierie pédagogique, on utilise beaucoup le terme de *design pédagogique* que nous considérons ici comme équivalent de modèle. Nous retiendrons l'expression de modèle d'enseignement pour des formes génériques et le terme de *design* pour une instance particulière d'un de ces modèles.

Kobbe définit un cadre (« *Framework for collaborative scripts ») pour* la définition des activités CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*) dont nous nous inspirons pour définir les dispositifs étudiés. Pour lui, un dispositif peut être défini par les variables suivantes :

1. Les individus qui participent.

2. Les activités dans lesquelles ils sont impliqués (nous soulignons qu'il s'agit des activités cognitives).
3. Les rôles qu'ils adoptent (nous soulignons qu'il s'agit de rôles effectifs et pas forcément ceux annoncés par l'enseignant).
4. Les ressources dont ils font usage.
5. Les groupes qu'ils forment.
6. L'organisation des ces items.
7. Le déroulement dans le temps. (Kobbe, 2005 p. 8)

On parle de scénarisation pour l'organisation dans le temps, les espaces matériels et virtuels de ces organisateurs qui constituent les dispositifs. Nous avons mis en évidence les rôles des participants parce que ce sont les rôles effectifs dans les activités qui déterminent et expriment les activités cognitives de l'apprenant.

Dans une perspective didactique, le rôle détermine l'activité – cognitive notamment de l'élève. « L'une des difficultés didactiques les plus ordinaires et les plus pressantes pour un professeur est celle qu'il rencontre pour « donner une place aux élèves " c'est-à-dire pour créer, à leur intention, et à propos de chacun des thèmes étudiés, un *topos* approprié, qui donne à l'élève le sentiment d'avoir un «vrai rôle à jouer » (Chevallard, 1999 p. 247). Le terme de rôle est défini par Kobbe dans un sens assez global :

> *« The main function of roles in collaboration scripts is to refer to specific participants when assigning activities or allocating resources. Roles are also associated with privileges, obligations and expectancies. »* (Kobbe, 2005 p. 8)

Nous utiliserons le terme de rôle avec ce sens de lier des activités à des personnes. Si l'apprentissage résulte des interaction de l'apprenant avec le milieu, le rôle détermine les activités cognitives mises en jeu et le sens que les élèves donnent aux activités. Pour nous, le paramètre central qui articule ces descriptions est l'attribution des rôles qui établissent des liens entre les activités et des personnes ainsi que des groupes.

Ce terme de rôle emprunté à la terminologie CSCL (par ailleurs appelé tâche dans d'autres cadres conceptuels) mène celui qui l'endosse à assumer la responsabilité de certaines actions. Aussi, le concept est proche de la tâche et des activités : soit on part de l'activité pour identifier les participants qui les réalisent, soit on part des rôles et on identifie ce qu'un participant assume de faire dans ce rôle : les tâches qu'ils réalisent.

C'est cependant la responsabilité face à d'autres individus qui définit le rôle effectivement assumé. Nous avons pris en compte comme l'ont souligné (Bromme, et al., 2008; Rouet, 2006) que la consigne ne devient pas automatiquement une tâche effectuée et que les activités cognitives impliquées dépendent beaucoup de la reconstruction par l'élève de son rôle dans l'activité : son but (et donc ce qu'il assume) ne correspond pas forcément aux objectifs de l'enseignant. Le rôle qu'assume l'élève ne découle pas automatiquement d'une attribution par l'enseignant des différentes sous tâches. Il accepte d'engager sa responsabilité au cours d'un processus négocié : l'élaboration du contrat didactique.

La différence cruciale ici est la responsabilité assumée qui nous a paru mieux explicitée par le terme de rôle, beaucoup employé dans le champ de la recherche en psychologie sociale et en particulier sur l'apprentissage coopératif (Buchs, 2012), or nous verrons qu'une structure coopérative peut être un élément crucial des dispositifs d'apprentissage des sciences.

Nous avons donc choisi de distinguer les rôles plutôt que les tâches dans la description du dispositif et avec une granularité assez fine : pour chaque activité, un rôle déterminé peut être endossé par différents participants. Nous avons choisi de renoncer à construire la description du

dispositif avec des rôles larges et englobants comme tuteur, chercheur, etc. qui déterminent effectivement des liens entre les personnes et les activités cognitives, mais justement risquent d'enfermer dans ces liens et de rendre difficile la dévolution des activités cognitives les plus intéressantes aux élèves au fur et à mesure que l'étayage s'atténue.

Cette dissociation fine entre les rôles et les participants qui les assument nous est apparue cruciale au cours des implémentations. En effet, dans la mesure où l'autonomie des élèves est visée, un transfert progressif de certains de ces rôles dans la structure ou vers les élèves doit être organisé en distinguant finement les rôles et leur attribution. Si l'étayage nécessaire au début exige que des rôles métacognitifs comme la régulation des apprentissages, la délimitation conceptuelle, la validation, le choix des ressources soient pris en charge par l'enseignant, le dispositif doit favoriser et organiser une progressive prise en charge de ces rôles par les élèves. Cela confirme la temporalité de l'élément de design ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages.

On ne peut pas *exiger* l'autonomie : ce serait une injonction paradoxale. Philippe Meirieu l'a fort bien décrit.

> Au cœur du pédagogique, il y a toujours, en effet, un double projet : inculquer des connaissances et éveiller une liberté, intégrer à une société ou à un groupe et permettre de s'en émanciper, instrumenter les intelligences et interpeller les consciences, évaluer les résultats que l'on obtient en termes de conformité à des critères tout en sachant que la véritable réussite se joue finalement ailleurs, en termes de désobéissance et de rupture. (Meirieu, 1993b p. 270)

Cependant, nous avons exploré les particularités de la structure du dispositif – notamment les rôles et le transfert progressif de leur responsabilité – qui encouragent ou permettent cette prise d'autonomie et observerons les indices de cette prise effective d'autonomie.

Aussi, nous utiliserons le terme de rôles avec une granularité assez fine, comme « S'assurer que les questions apparues ne se perdent pas et les rendre accessibles en tout temps. » ou « Sélectionner une ressource pour y trouver la réponse à une question » mais aussi d'autres plus larges comme « Investigateur – écrivain scientifique : lire, comprendre, synthétiser, écrire ».

Ces variables ont permis de décrire le dispositif et les activités qui le constituent dans les dimensions les plus importantes pour cette recherche (développement conceptuel, autonomie, intelligence informationnelle, …) et ont permis de supporter l'observation et la discussion des résultats.

Nous avons choisi de formuler en termes de *conjectures* (abrégées CJ1 à n) les hypothèses qui fondent le design et sont incarnées dans le dispositif étudié. La littérature emploie pour les particularités du dispositif résultant de ces choix le terme de *design feature* (Sandoval, 2004), que nous traduirons par *éléments de design* : « règles de conception » est trop prescriptif, « caractéristique de conception » trop souvent mal interprété. Elles sont abrégées de ED1 à n.

Ce sont, en somme, des modèles d'action ou des variables de climat qui sont issues de la conceptualisation dans le projet et se sont avérés importants lors de l'analyse du dispositif. Nous les présenterons au cours du cadrage théorique au fur et à mesure qu'ils sont construits dans leur formulation finale, même lorsque leur justification n'est pas encore complète.

Elles conduiront dans la conclusion à des recommandations de design (= RD) qui y seront discutées. Bien qu'elles aient été choisies pour leur pertinence en dehors de cette implémentation particulière, la portée et les limites de ces recommandations devra être établie.

### 4.3.2 Quelques réflexions issues d'une première revue des designs pour l'enseignement des sciences

De nombreux dispositifs, ou recommandations sur la manière d'enseigner la biologie ou les sciences ont été examinés au début de ce projet d'abord dans les rubriques « éducation » des revues de recherche en biologie qui sont principalement anglophone. Ensuite, une littérature plus spécifiquement didactique a été examinée, notamment dans le monde francophone.

Une première analyse a révélé des approches très divergentes. Les objectifs poursuivis que nous avons pu relever étaient nombreux : l'activité de l'étudiant, les méthodes de la biologie, *knowledge integration,* compréhension "en profondeur", l'implication intellectuelle, une diversité des interactions entre les acteurs pédagogiques, un traitement explicite de la NOS, *notion of science,* proche du vécu des chercheurs, la motivation des étudiants à apprendre ou à choisir d'étudier la Biologie, *Accountability*.

Nous avons organisé ces documents dans la dimension prescriptive et nous les avons groupés en fonction des dimensions de savoirs prônés en les situant dans le tableau de (Hounsell & McCune, 2002) Cf. Tableau 1 p. 28). Nous avons mentionné par l'abréviation correspondante chacun des objectifs poursuivis par ces articles, afin de faciliter la synthèse.

Nous livrons ici non pas un *review*, mais une sorte de panorama kaléidoscopique et d'une actualité défraîchie – destiné à mettre en évidence la divergence des approches de l'éducation des sciences qu'on peut trouver si on n'a pas un cadre théorique préalable. Il précède la construction du nôtre et certains de ces auteurs contribuent de manière centrale à la construction de cette thèse.

De nombreux auteurs proposent des modèles qui prônent *l'activité de l'étudiant* et défendent un apprentissage qui se base sur l'activité des étudiants, visant à les rendre moins passifs, plus actifs intellectuellement et concrètement. Cf. par exemple (Allen & Tanner, 2005; Bonner, 2004; Handelsman, Houser, & Helaine, 2002; Huba & Freed, 2000). Certains cherchent dans des dispositifs technopédagogiques le moyen de rendre les apprenants plus actifs : par exemple *JiTT Just in Time Teaching in Biology (Marrs & Novak, 2004)* ici les objectifs principaux sont situés dans le Tableau 1 en B5 et C1.

Insistant aussi sur la nécessaire *mise en relation des différentes notions et concepts* d'aucuns ont proposé des modèles visant à développer *knowledge integration (Linn, Lee, Tinker, Husic, & Chiu, 2006)* ou des modèles généraux (Modell, 2000) (sic !) qui adressent surtout le point C3 du Tableau 1.

Se focalisant sur les *interactions entre les acteurs pédagogiques*, certains proposent d'accroître la diversité des interactions étudiants - enseignants dans l'enseignement afin de lutter contre la passivité des étudiants (Handelsman et al., 2004). D'autres cherchent à rendre plus actifs les étudiants et décrivent une série de modèles articulant des phases présentielles, des cours classiques dans les auditoires avec des interactions médiées par les technologies dans des activités supportées par les TIC telles que lectures préalables, production ou discussion, questionnement, préparation de séminaires etc. Cf. par exemple (Allen & Tanner, 2005; Smith et al., 2005). Les objectifs de ces modèles sont situés dans le Tableau 1 en B5 et B6 d'abord et B3-D3 ensuite.

D'autres textes mettent l'accent sur *l'implication intellectuelle* des étudiants : les auteurs parlent de *Engaged students*ou de *constructive alignment* (Biggs, 1999; NSF, 2006; Tanner & Allen, 2005) et proposent de développer la cohérence entre les activités d'enseignement en termes cognitifs et les compétences visées. Ces textes se réfèrent explicitement à (ou peuvent être attribués à) des objectifs de la catégorie B5 ou D1et D2 dans le Tableau 1.

Le groupe de textes le plus abondant insiste sur la nécessité d'une *compréhension en profondeur : « from students simply creating a knowledge base of scientific facts to students developing deeper understandings of major concepts within a scientific discipline"* (Tanner & Allen, 2005). Par exemple (Center for Science Education, 2002; Giordan, 1998; Hammer, 1995; Handelsman, et al., 2004; Hickey & Zuiker, 2005; Keselman, 2003; Linn, et al., 2006; Rogers, 1969; Sandoval, 2003a; Robin L. Wright & Klymkowsky, 2005). Les objectifs poursuivis peuvent être situés en A3-4-5 et C2 dans le Tableau 1. Cet insistance sur la compréhension effective des mécanismes du vivant est – nous l'avons vu – au centre de l'épistémologie de la discipline biologie : il n'est donc guère surprenant de le voir fréquemment cité.

La mesure de la compréhension est liée aux compétences d'expression. Plusieurs auteurs cherchent à dissocier cette réelle compréhension des phénomènes étudiés d'une autre compétence, celle d'utiliser le langage et le vocabulaire de la discipline, à donner une impression de connaître sans être forcément capable des démarches permettant de produire des savoirs nouveaux dans la discipline : *l'expertise interactionnelle* (H. Collins, 2004). Cette expertise correspond à des objectifs qu'on peut situer dans A1, B3 et D3, D4 dans le Tableau 1. Cette compétence interactionnelle est fréquemment décrite comme *moins profondément celle d'un biologiste*, et les enseignants s'en méfient souvent, les chercheurs la décrivent *avec un brin de mépris* comme nécessaire pour publier et rédiger les demandes de subsides. Cette opposition vécue entre la *vraie* biologie et la capacité à *en parler* est sans doute une tension que doivent affronter les enseignants et qui traverse la formation à la biologie.

Un autre faisceau de textes met en avant un enseignement *plus près des méthodes de la biologie* : approches expérimentales, techniques de laboratoire. Ces auteurs insistent sur une confrontation des étudiants au laboratoire, aux activités de terrain. L'idée est que l'étudiant soit impliqué dans des activités qui reflètent la réalité des pratiques des biologistes "*The goal is to put students through a process that mirrors what scientists do, says Marcia Linn",* in (Bhattacharjee, 2005b p. 225) ou aussi (Goodman, 2002) Les objectifs sont ici prioritairement B1 et B2. D'autres mettent l'accent sur l'analyse de données et leur discussion (Kitchen, Bell, Reeve, Sudweeks, & Bradshaw, 2003). Les objectifs sont ici prioritairement B2 et D1 dans le Tableau 1.

La *notion de science* : plusieurs auteurs (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Hammer, 1997; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002; Schwartz, et al., 2004) mettent l'accent sur le développement d'une épistémologie de la science *" During the past 85 years, almost all scientists, science educators, and science education organizations have agreed on the objective of helping students develop informed conceptions of nature of science (NOS)" (Lederman, et al., 2002).* Il s'agit de développer chez les enseignés et les enseignants « …une représentation renouvelée et enrichie de la science, comme processus, cheminements, démarches et non plus comme une accumulation de résultats objectifs et définitifs pourvus de quelque vérité intemporelle et absolue. » (Astolfi, 1997b p. 77)

Un traitement explicite de la NOS, c'est-à-dire se référant à l'histoire et la philosophie de la science est plus efficace (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Sandoval, Bell, Coleman, Enyedy, & Suthers, 2000). Ces textes se réfèrent aux objectifs C3 du Tableau 1.

Les *obstacles conceptuels* : d'autres encore – et nous considérons que c'est là une dimension cruciale de l'enseignement des sciences – soulignent l'importance de prendre en compte les représentations des élèves (Giordan, 1998; Hammer, 1996; Suping, 2003; Tanner & Allen, 2005). On peut considérer que ces textes se réfèrent aux objectifs C3 du Tableau 1.

D'autres textes décrivent un enseignement plus *proche du vécu des chercheurs* et proposent de ne pas se focaliser sur la nécessité de couvrir un champ de connaissances pour se concentrer sur l'application de la pensée scientifique à des problèmes pertinents décrits comme vivants. Par exemple, (*"Lived curriculum"*) "*Rather than focusing on covering key facts or principles, a*

*lived curriculum in nonmajors biology focuses on helping students learn to use scientific knowledge to solve relevant problems*." (Robin L. Wright & Klymkowsky, 2005) ou "*Biology brought to Life*" (Handelsman, et al., 2002). On peut rapprocher ces préoccupations de celles du mouvement STS qui prône l'ancrage de l'enseignement dans des problématiques sociétales (Hurd, 1998). Il s'agit ici d'un enseignement moins désincarné, des conditions pour que l'étudiant puisse trouver du sens aux apprentissages : les objectifs sont ici prioritairement B1 et B2, mai encore plus C1, C2, D1 dans le Tableau 1.

Une pression des milieux économiques et des facultés de sciences expérimentales – notamment les biosciences – pour des résultats mesurables : *Accountability*. On sent une certaine irritation aux Etats-Unis de voir de nombreux efforts investis dans l'enseignement de la science pour des résultats assez décevants (National Academy of Education (NAE) Panel, 2006) particulièrement dans les comparaisons internationales. Les textes anglo-saxons mettent souvent en évidence une pression politique et économique pour que l'école soit analysée – voire gérée – sur la base de résultats mesurables (Hounsell & McCune, 2002). On voit en particulier le souci d'une recherche plus rigoureuse dans l'analyse (Burkhardt & Schoenfeld, 2003) ou l'évaluation (Mervis, 2004). Le rapport ETL de Grande Bretagne met en évidence une pression accrue pour une évaluation des résultats et une prise en compte des besoins des milieux professionnels (Hounsell & McCune, 2002). Les objectifs concernent le rapport de la société à la science et sont donc principalement hors du Tableau 1 mais on peut lire derrière ces remarques, notamment dans les méthodes d'évaluation pratiquées, un accent sur les catégories d'objectifs les plus concrets : les objectifs de connaissance A et de compétences techniques B1-2-3 et C1-C2 dans le Tableau 1, soit plutôt les premiers niveaux de chaque panneau.

Alors que la désaffectation des études de sciences est un problème croissant, plusieurs textes proposent de changer l'enseignement afin de *stimuler la motivation* des étudiants à apprendre ou à choisir d'étudier la biologie. Plusieurs auteurs prônent des partenariats entre des chercheurs et des écoles (Tanner, et al., 2003) ou la création de liens entre la recherche et l'enseignement (Sears & Wood, 2005) ou encore des stages pour les jeunes dans des recherches réelles (Bhattacharjee, 2005a). De nombreux textes parlent de l'effet décisif de la rencontre d'un modèle identificatoire (*inspiring*) (Becker, 2004; Robin L. Wright, Charlson, & Olson, 2005) ou d'une activité de laboratoire ou de terrain (Beck, Morgan, Strand, & Woolsey, 2006). Certains s'inquiètent que l'image peu numérique « science molle » de la biologie écarte certains étudiants doués en mathématique. (NRC Committee on Undergraduate Biology Education to Prepare Research Scientists for the 21st Century, 2003) p. 4). On pourrait placer ces objectifs dans le Tableau 1 en B5, mais l'objectif principal est hors de ce tableau : encourager un choix de parcours d'études.

*Des objectifs différents : des problèmes et des solutions différentes…*

Ce petit survol de la littérature nous a montré qu'il n'y a pas de consensus ni de convergence vers un modèle général. Si l'on observe des points d'accord sur l'imperfection des pratiques actuelles, on relève de très grandes divergences sur les solutions proposées. De très nombreuses narrations de « *success stories* » ont été explorées : souvent très touchants et convaincants, ces récits identifient un problème qui serait la cause des difficultés de l'éducation scientifique et décrivent comment les auteurs ont pu le résoudre.

Cette approche est réductionniste : il y aurait un problème unique ou principal qui doit trouver une solution. Elle évoque ce que certains appellent « *faddism* »(Good, 2008), une succession de modes : UN problème convaincant est identifié – un peu arbitrairement – et une solution qui résout ce problème avancée, mais il n'y a pas vraiment une analyse complète qui montrerait que les qualités des modèles remplacés sont maintenues et que l'on n'ajoute pas des nouveaux défauts.

Il n'a pas été facile d'extraire de cette analyse des tendances cohérentes et justifiées. Le Tableau 1) de l'ensemble des compétences d'un biologiste (Hounsell & McCune, 2002) nous a permis de situer chacun des objectifs poursuivis par ces articles et de les mettre en perspective. On constate que la plupart des auteurs se focalisent sur quelques compétences ou connaissances, sans construire et justifier ces objectifs par rapport à une vision de ce qu'est la science et la connaissance scientifique.
Il apparaît donc que les auteurs poursuivent des objectifs différents. Nous avons pu regrouper des textes qui cherchent à développer chez l'apprenant :

- Les faits et connaissances de la biologie. (A1 et A3)
- La manière de construire, de valider des connaissances en biologie. (B2, B4, D1, D3)
- Les méthodes de la biologie : approches expérimentales, techniques de laboratoire, etc. (B1, D4)
- L'épistémologie de la biologie, ou de la science. (NOS) (C3, D5)
- La motivation des étudiants à apprendre ou à choisir d'étudier la biologie. (Hors tableau)

Cette analyse rapide met en évidence la nécessité de définir les compétences et connaissances recherchées avant d'aller vers des scénarios d'implémentation. Cela justifie bien la construction d'une définition de la science et des connaissances scientifiques que nous avons effectué plus haut.

Si ces objectifs divergent, on peut lire en filigrane un souci de se rapprocher de la biologie pratiquée par les chercheurs. Le seul point sur lequel un certain consensus se dégage est donc la recherche d'une plus grande authenticité entre ce qui se fait en recherche et ce qui se fait en classe.

### 4.3.3 L'authenticité : une revendication implicite dans la plupart des modèles d'enseignement de la biologie

Dans une certaine mesure, les dispositifs d'enseignement des sciences revendiquent forcément une certaine authenticité, une forme d'isomorphisme avec la recherche en sciences expérimentales. Une abondante littérature souligne depuis longtemps l'importance d'un enseignement plus authentique, notamment (Dewey, 1911; Freinet, 1942). Pourtant nous avons vu plus haut que la transposition didactique est inéluctable et que l'authenticité peut se concevoir sur différents plans mais qu'elle ne peut pas être complète.

On peut lire une grande partie de la recherche en éducation en termes de cette tension, et nous allons explorer comment elle sous-tend un nombre important de publications proposant des modèles d'enseignement trouvés dans la littérature.

*L'illusion nécessaire de l'authenticité*

De manière générale, l'authenticité est une recherche d'une forme de similarité entre les processus éducatifs et ceux pratiqués par les personnes de référence en dehors de l'école. Quelle activité devrait être isomorphique avec quels processus éducatifs n'est pas souvent explicité, ni les personnes auxquelles fait référence cet isomorphisme.

Dans le cas le plus simple, on parle d'authentique dès qu'un objet ou des documents extrascolaires sont introduits dans la classe pour aider à l'apprentissage sans qu'il y ait de gros changements des activités et des pédagogies.

De manière plus ambitieuse, pour les auteurs du *Visible Knowledge Project,* on parle d'apprentissages authentiques quand ils se construisent dans l'interaction avec des problèmes du monde réel, dans des projets qui font du sens pour les étudiants (Donovan, Bransford, &

Pellegrino, 1999). Ces deux dimensions d'une référence au monde réel (réel défini implicitement comme extrascolaire) et du *sens* pour les élèves sont très souvent mentionnées.

Dans le plan des savoirs disciplinaires, l'authenticité peut se référer aux pratiques ordinaires de la culture (J. S. Brown, Collins, & Duguid, 1989), et en éducation aux sciences, il apparaît qu'on se réfère généralement à la recherche scientifique. Bien que ce ne soit probablement pas l'activité de la majorité des biologistes, la référence implicite pour l'authenticité reste l'activité de « scientifique », de chercheur académique.

Jean-Louis Martinand (Martinand, 1989) a défini le concept de pratique sociale de référence qui situe la référence de l'authenticité dans une dimension sociale et dans l'action – les pratiques – plutôt que dans les données ou les outils, nous y reviendrons plus bas.

De son coté, (Brousseau, 1998) a parlé de situation adidactique : une situation qui serait dénuée d'intention didactique ; on sait qu'il est revenu sur cette notion, mais nous resterons sur ce concept qui semble couramment évoqué par les enseignants. On peut voir dans ce souci de contact direct de l'élève avec le milieu une forme de recherche d'interactions authentiques avec un milieu qui ne serait pas ou que très peu influencé par l'action de l'enseignant. Rechercher l'effacement de l'enseignant laissant l'élève agir sur le milieu antagoniste dans des interactions avec les données et les outils situe la référence hors du plan social. Le très classique modèle du triangle didactique Elève (E) – Savoir (S) – Maître (M) (Houssaye, 1988) permet de discuter cette conceptualisation de l'authenticité : les interactions authentiques seraient celles entre l'élève (son système de connaissances) et le savoir dans la situation, en somme une prédominance de l'axe E – S.

On peut définir trois niveaux d'authenticité le long de cet axe-là : i) l'authenticité *des données*, ii) l'authenticité *des outils*, iii) l'authenticité des *démarches*, de l'*épistémologie.* D'après le (The Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990) *in* (Achtenhagen, 2003).

Le premier degré met relativement peu en cause l'institution scolaire, le deuxième un peu plus, et nous avons développé avec M.-C. Blatter, depuis l'an 2000, des formations continues à la transposition de la bioinformatique poussant assez loin de ces deux niveaux (F. Lombard & Blatter, 2009)

Le troisième degré est celui qui remet en question le plus les pratiques scolaires. Il paraît de prime abord difficile de prétendre que dans l'école, les élèves « *sont des chercheurs qui font des découvertes* ». En effet, ce qui est critique est d'impliquer les élèves dans le débat scientifique (*"scientific discourse "*) *"The decisive point here is [...] involving students in arguing from data, in proposing, testing, and revising hypotheses, and in accepting criticism and counterarguments from their peers.*" (Doyle, 2000 p.2).

*L'élève producteur et pas seulement re-producteur de connaissances*

Avec d'autres (Giordan, 1978), Scardamalia et Bereiter défendent l'idée qu'il s'agit en classe d'apprendre à produire des connaissances et pas seulement des les reproduire. Cela fonde une pédagogie du *Knowledge Building* (« Construction de connaissance » est un peu fade et ne rend pas compte de la radicalité de cette pédagogie. Aussi faute de mieux, nous parlerons de *construction de connaissances scientifiques*) :

> *Knowledge building pedagogy is based on the premise that authentic creative knowledge work can take place in school classrooms—knowledge work that does not merely emulate the work of mature scholars or designers but that substantively advances the state of knowledge in the classroom community and situates it within the larger societal knowledge building effort. This is a radically different vision from contemporary educational practice, which is so intensely focused on the individual student that the notion of a state of knowledge that is not a mental state or an aggregate of mental states*

> *seems to make no sense. Yet in knowledge creating organizations it makes obvious sense. People are not honored for what is in their minds but for the contributions they make to the organization's or the community's knowledge.* (Scardamalia & Bereiter, 2006 p. 3)

Cette conceptualisation de l'élève comme créateur de connaissances, et de la classe comme une communauté de connaissance (A. L. Brown & Campione, 1995) prend tout son sens dans une perspective citoyenne de préparer les élèves à se faire une place en société de la connaissance : elle est au cœur de notre réflexion sur la problématique 4 et nous y reviendrons.

Si l'on considère l'élève comme créateur de connaissances, la question de l'authenticité prend un autre sens, épistémologiquement plus proche de « la notion de pratique sociale de référence, développée par Jean-Louis Martinand, puisque ce sont donc les pratiques de la discipline et le mode d'établissement de ses énoncés qu'il s'agit de transposer. » (Astolfi, 2008 p. 50). C'est alors entre les pratiques, les processus cognitifs des élèves et ceux des personnes de référence (l'activité de construire des connaissances scientifiques) que nous rechercherons l'authenticité. Pour nous, faire de la science à l'école, c'est donc aider l'élève à *construire* des connaissances individuelles par l'interaction avec d'autres et par l'interaction de ses modèles avec le référent empirique. Cela signifie par l'argumentation avec d'autres des liens entre données – parfois par procuration dans des documents authentiques – et les conclusions qu'on en tire, en référence aux cadres et hypothèses dans lesquelles les données ont été construites.

### 4.3.4 **Trois plans pour la recherche d'authenticité**

En élargissant ainsi la référence d'authenticité, on élargit la réflexion hors de l'axe E – S (Elève – Savoir). On peut ainsi situer, avec (Doyle, 2000), la recherche d'authenticité dans trois plans : une authenticité dans le plan i) du vécu de l'élève, ii) des savoirs, iii) des connaissances situées dans les activités et le contexte social sans lequel elles n'existent pas.

Un premier plan définit l'authenticité autour du vécu de l'élève et rejoint la recherche de sens pour l'élève mentionné plus haut (Donovan, et al., 1999) : ce qui est authentique est un apprentissage qui est vécu comme vrai par l'élève plutôt que ceux qu'il subit sans en comprendre le sens.

> *"(l) Child-centered authenticity*
>
> *"Child-centered authenticity locates the real in the spontaneous interests and understandings of the child that evolve through action and interaction with natural objects, events, and people in the child's world". "In this sense, the curriculum ... is the child" (p. 1). "If adult forms are imposed too early, then the child is forced to engage in meaningless activity without comprehe*nsion for extrinsic incentives. (Donovan, et al., 1999 p. 2)

De manière similaire, (McDonald & Songer, 2008 p. 987) parlent d'*apprentissage* authentique qu'ils opposent à une *pratique de science* authentique. Pour ces auteurs, la confusion entre les deux est fréquente et se manifeste par la mesure d'authenticité dans le degré de contrôle par l'élève. Les distinguer explicitement est important pour eux et confirme qu'on ne peut pas voir l'authentiticité dans un seul plan.

Un deuxième plan est celui des savoirs – l'axe E-S du triangle didactique discuté plus haut – où la recherche d'authenticité évoque les données, les outils, les démarches de référence. On peut y situer les 2 premiers niveaux d'authenticité (The Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990).

> *(2) Subject-centered authenticity*
>
> *Subject-centered authenticity locates the real in the data, tools, and operations of the disciplines represented as school subjects in the curriculum". "It is usually presumed that if students are doing real science or real history, then they will find the materials and*

> *problems attractive and compelling, just as real scientists and historians do. If, for example, students are testing real pond water from a local lake to find real toxins, than they will naturally be excited about what they are doing and motivated to forge ahead* (The Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990 p. 2)

Un troisième plan recherche l'isomorphisme des pratiques et du contexte social, parce que l'activité dans laquelle la connaissance est située est une part intégrante de ce qui est appris.

> *(3) Situated authenticity*
>
> *In situated authenticity, the real is located in the authentic activity of practitioners in real-world settings." "The central argument is that the activity in which knowledge is developed and deployed is an integral part of what is learned and known*. (The Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990 p. 2)

Le concept de pratiques sociales de référence de J.-L. Martinand nous paraît s'inscrire bien dans ce troisième plan.

Ainsi, de nombreux chercheurs ont mis en évidence que l'authenticité est un horizon qui recule quand on s'en approche – notamment à la conférence ERIDOB « *Authenticity in Biology Education: Benefits and Challenges* », 13-19 juillet 2010, Braga Portugal.

Pour conclure, nous rejoignons (Achtenhagen, 2003) pour qui l'authenticité est une illusion ou plus exactement qu'elle doit être mise en scène et nous pensons que deux étapes de transposition didactique (externe, interne) dans la construction des savoirs à enseigner et dans leur mise en œuvre en classe sont inévitables.

Cela met en évidence un concept qui peut faire obstacle : parler d'authentique suggère une valeur binaire. Une activité serait authentique ou ne le serait pas. La considérer comme une variable avec des valeurs intermédiaires nous a permis de dépasser certains pièges et d'envisager des éléments de design qui peuvent améliorer les apprentissages, notamment l'adéquation au paradigme courant de la biologie. La recherche d'une authenticité absolue – que les recherches sur la transposition didactique montre bien être impossible (Chevallard, 1991) – conduit à deux impasses opposées. D'un coté de la transposition, on serait tenté de faire pratiquer aux élèves exactement ce que font les scientifiques ce qui est naturellement impossible car il ne sera pas possible de fournir aux élèves les connaissances, les outils, le temps et les mêmes buts (publication, financements, etc.) que les chercheurs. De l'autre côté de la transposition, on serait tenté de plaquer sur les pratiques scolaires usuelles (connaissances curriculaires, ressources et outils scolaires, buts scolaires) en annonçant que les élèves « sont des chercheurs » une pratique de recherche où ils devraient découvrir un savoir de recherche (une théorie du mécanisme de la photosynthèse par exemple) dans un temps donné et les élèves n'assument pas vraiment le rôle de chercheur et ne produisent pas vraiment de savoirs nouveaux (De Vecchi, 2006). Dans les deux cas, soit l'enthousiasme de l'enseignant lui permet de se leurrer sur ce qu'il fait (Hodson, 1996), soit il constate que les élèves ne pratiquent pas réellement « comme les chercheurs » et risque de retomber dans les pratiques traditionnelles (De Vecchi, 2006).

Poser l'authenticité en termes de degré permet de proposer des milieux (Brousseau, 1998) d'authenticité adaptés aux élèves de divers niveaux, constituant un étayage stimulant, c'est-à-dire de susciter des confrontations socio-cognitives qui se produisent dans la zone proximale de développement. Ainsi, un article de Science & Vie peut être une ressource suffisamment authentique au début d'une investigation pour des élèves du secondaire supérieur ou en fin d'investigation pour des élèves du secondaire inférieur. Cela permet aussi d'organiser l'apprentissage des sciences et termes de progression de la capacité à affronter l'authentique complexe. C'est-à-dire en termes de développement des compétences d'intelligence informationnelle permettant de remonter plus loin vers la source des savoirs, notamment de mettre en perspective et d'interpréter les données sur lesquelles ces savoirs reposent et

développer les attributs métacognitifs (l'épaisseur scientifique) des connaissances (Bromme, et al., 2008).

Nous avons vu (Astolfi & Develay, 2002 p. 45) que la transposition didactique décontextualise les savoirs scientifiques, présente des résultats sans les mécanismes de leur production, des conclusions sans le processus qui les étaye. Cependant, nous inscrivons comme une note d'espoir la responsabilité de l'enseignant dans la transposition interne, qu'il peut la faire de manière raisonnée et guider les élèves vers plus d'authenticité et de compétences à affronter leur complexité.

Pour aller plus loin vers la conception de dispositifs, Astolfi et Develay proposent une transposition didactique raisonnée :

> … La question reste de voir si l'on peut disposer d'indications qui permettent au didacticien de construire des propositions raisonnées de transposition didactique. Tout en sachant bien que d'autres déterminants puissants pèsent sur l'élaboration curriculaire. C'est ici qu'il faut introduire d'autres concepts développés dans divers travaux de didactique des sciences: ceux de pratiques sociale de référence, de niveaux de formulation d'un concept et de trames conceptuelles. (Astolfi & Develay, 2002 p. 45)

Ils proposent notamment de situer la transposition dans le cadre d'un problème scientifique, avec son cadre théorique. Ils proposent ensuite d'adapter les niveaux de formulation et d'organiser les concepts en trames conceptuelles structurées depuis des concepts intégrateurs vers des énoncés organisés en fonction de leurs liens logiques. Enfin, ils proposent de dépasser l'idée de blocage qui reflète le sentiment d'impuissance de l'enseignant pour le transformer en horizon à atteindre et penser en termes d'objectif-obstacle : une fois l'obstacle conceptuel identifié, « il faut le penser d'une manière qui rende possible son dépassement ».

Nous formulons pour la conception de dispositifs la conjecture suivante : pour aider les élèves à changer leurs concepts (plutôt que juxtaposer des connaissances simplement déclaratives), l'apprentissage doit être organisé de manière à accompagner les élèves pour qu'ils osent affronter explicitement les obstacles conceptuels et prévoir comment les mettre en défaut puis de les dépasser. Cela fonde en partie la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage, et l'élément de design ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes.

Une autre conjecture – très centrale pour cette recherche - est que l'apprentissage problématisé par des questions du paradigme recherché, mises en contexte dans ce paradigme avec des ressources proches (authentiques par rapport à ce paradigme) qui leur donne du sens devrait aider à conduire les élèves vers des connaissances qui ont de l'épaisseur dans ce paradigme. (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources)

Une condition pour ces deux conjectures est que l'élève doit être responsable des questions (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves) et avoir compris le sens des démarches et se sentir responsable de ses apprentissages (ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe).

### 4.3.5 **Aider à affronter la complexité ou simplifier pour en protéger les élèves ?**

On peut relever que faire de la science comme nous l'avons défini mène forcément à affronter une complexité considérable et s'écarte du rôle de l'enseignant qui simplifie pour rendre

accessible et en somme cherche à protéger l'élève contre la complexité du monde (Jonassen, 2003). Encourager la connaissance scientifique, c'est forcément apprendre à affronter la complexité réelle des savoirs et correspond donc à une vision des élèves comme des personnes chez qui on veut développer l'autonomie, plutôt que des créatures faibles que l'on veut protéger de toutes perturbations, puisque ce sont des perturbations bien choisies qui font apprendre.

Décrivant *l'apprentissage situé,* (Jonassen, 2003) dit que les apprentissages qui sont situés dans des tâches réelles et qui font du sens ou dans des environnements d'apprentissages adaptés sont mieux compris et transférés à des situations nouvelles. Il dit que le "péché" le plus grave qu'un enseignant puisse commettre est de simplifier la plupart des idées enseignées aux élèves, et ce afin de faciliter leur transmission. Une trop grande simplification déconnecte les savoirs de leur contexte, leur ôtant une grande part de leur sens et encourage l'illusion confortable que le monde serait simple et cohérent.

On peut lire ce plaidoyer à la lumière des différences de paradigme : la recherche affronte la complexité dans les concepts alors que le paradigme scolaire classique affronte des complexités pédagogiques et relationnelles, de gestion de classe, de calendriers et de programmes.

*Le langage de la science : quel jargon, à quels moments didactiques ?*

La question du langage employé est très sensible pour les enseignants : d'une part, la transposition didactique porte aussi sur le niveau de formulation et incite à employer un langage connu des élèves, à simplifier et à s'écarter du jargon spécifique de la discipline, souvent dénigré, parce qu'il serait trop complexe pour les élèves. D'autre part, la rigueur scientifique exige un langage précis. Voyons d'abord pourquoi chaque discipline développe son jargon et en quoi il est nécessaire à la pensée scientifique.

> … Chaque discipline invente des mots, en recycle ou en rectifie d'autres. Elle développe ainsi au sein de la langue maternelle, une sorte de langue étrangère qui est une condition indispensable pour échapper au sens commun. (Astolfi, 2008 p. 24)

Ainsi, une pensée élaborée a besoin de mots précis et spécifiques : son jargon est indissociable de la pensée disciplinaire.

> La conclusion de ces observations, c'est qu'il faudrait sans doute y regarder de plus près avant de condamner ce qu'on appelle les jargons disciplinaires. Sans doute ceux-ci comportent-ils des excès, sans doute la préservation de l'entre-soi et un souci de la « distinction» ne sont-ils pas étrangers à leur développement, mais il ne faut pas que cela masque l'essentiel. Fondamentalement, les disciplines n'expriment pas de façon boursouflée et pompeuse ce qu'elles pourraient aussi bien dire avec les mots de tous les jours. Il ne peut exister d' « espéranto des disciplines », car leur langage est une condition indispensable d'accès à un nouveau régime intellectuel. Les mots sont toujours plus que les mots. Ce sont les conditions d'une forme originale de la pensée. Ils sont la langue parlée par les géants... (Astolfi, 2008 p. 25)

La distinction entre « développement » et « évolution » que le langage familier confond souvent permet de distinguer ontogénèse et phylogenèse. Elle rend possible l'étude de l'évolution de l'embryologie, comment les contraintes du développement embryonnaire peuvent limiter les possibles dans l'évolution et fonder une des problématiques du champ « Evo-Devo » qui a été exploré notamment par (Duboule, 2005). Sans cette distinction, ce champ entier de la biologie ne peut pas exister. L'enseignement progressif de ces précisions de vocabulaire, mais aussi de style d'écriture et de genres discursifs est donc, tôt ou tard, nécessaire.

> Du coup, les spécificités de la lecture et de l'écriture dans les disciplines font peu l'objet d'apprentissages explicites pour élaborer une pensée construite. Pourtant, les difficultés de l'apprentissage ne se réduisent pas à des problèmes généraux de compréhension des

> consignes ni à des faiblesses lexicales et syntaxiques, même si tout cela existe à l'évidence. Elles sont d'abord liées à la confrontation a confrontation des élèves avec des univers de pensée et de langage qui leur sont peu familiers. Au-delà de son lexique et de sa syntaxe, chaque langage disciplinaire possède en effet une organisation et une structure, qui se révèlent dans les détails en apparence les plus anodins. Contrairement à une représentation courante, les disciplines n'usent pas de la langue de tous les jours, simplement épicée de mots spécifiques et de tournures originales. Chacune, explique Bautier, fonctionne comme un genre discursif second, dont il faut avoir conscience et qu'il faut identifier pour pouvoir aider les élèves à y entrer. (Astolfi, 2008 p. 51)

Si la nécessité du jargon précis s'impose sur le langage familier, on doit distinguer les phases de construction de connaissances où (Hutchison & Hammer, 2010) argumentent qu'il faut surtout rechercher un cadrage épistémique productif (focalisé sur la production d'explications du monde naturel), plutôt qu'un langage formel qui peut conduire à un cadrage épistémique par les élèves de l'activité comme le « *classroom game* » (Lemke, 1990), c'est-à-dire apprendre les réponses que l'enseignant souhaite entendre et dont l'exactitude est définie par rapport à son autorité.

> *A feature of science classrooms that promotes unproductive framing is correctness being valued above all else. It is possible then that a science teacher's insistence on canonical correctness could prompt students to frame science class activity unproductively.* (Hutchison & Hammer, 2010 p. 521)

Pour la langue aussi, l'erreur ne doit pas être évitée mais tolérée et considérée comme une étape dans la construction des connaissances et dépassée. Un processus d'affinage progressif des concepts nécessite des allers-retours entre concepts et définition des termes de plus en plus précis : un glossaire est une construction progressive au cours du développement des connaissances (De Vecchi & Giordan, 1989).

Nous faisons donc la conjecture qu'il est important de distinguer des phases exploratoires et d'investigation où une grande tolérance d'un langage approximatif permet aux élèves d'élaborer leurs idées, et des phases d'institutionnalisation des savoirs qui doivent se faire dans les termes et avec le langage précis de la science. Cela fonde l'élément de design ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation.

### 4.3.6 **Quelques modèles pédagogiques courants**

La littérature sur les modèles pédagogiques en identifie de très nombreux (Joyce, et al., 2000). Nous en avons retenu quelques uns soit parce qu'ils sont couramment implémentés ou parce que nous les avons plus particulièrement étudiés pour leur pertinence à l'apprentissage des sciences.

*ProJect-based learning* (PjBL) : l'apprentissage par projet. Il y a une production qui fait du sens pour les apprenants et un calendrier défini, mais les moyens de l'atteindre sont ouverts et les apprenants ont une part importante de la responsabilité pour la réalisation, ils résolvent les problèmes rencontrés durant la réalisation de leur projet, sont responsables de rassembler et gérer l'information qu'ils réunissent.

De manière générale, il est caractérisé par la responsabilisation des apprenants et leur focalisation sur le produit final que nous appelons leur *but*, distinct mais en principe convergent avec les *objectifs* de l'enseignant.

Ce but peut être de réaliser un poster sur les mécanismes des différents moyens contraceptifs à afficher dans le hall de l'école, un site sur les observations de la faune marine, une brochure sur les espèces invasives à distribuer aux parents, un modèle en carton d'un cellule eucaryote à montrer à la réunion des parents, etc. Le fait que cette production soit montrée à un public

nombreux a un effet sur la motivation qui est souvent considérable et donne du sens aux productions scolaires.

Pour atteindre leur but, les apprenants réalisent des tâches qui en principe devraient les obliger à pratiquer les activités cognitives leur permettant d'atteindre les objectifs. Cette tension entre une logique de production (le but, les tâches) et d'apprentissage (les objectifs, les activités cognitives en jeu) (Perrenoud, 1998) est une des difficultés de ce modèle. En effet, la tension processus – produit – dans les termes de (Crahay, 2006) – rend particulièrement difficile la dévolution de la validation des connaissances qui est au cœur de la démarche scientifique et que nous voulons développer. Dévoluer la validation est particulièrement difficile pour plusieurs raisons. Si l'enseignant se représente son rôle comme garant des savoirs en classe, il aura énormément de peine à laisser les élèves valider des productions qui seront publiées sous sa responsabilité. Tout particulièrement pour une production publique parce que l'image de sa compétence professionnelle peut être menacée si l'enseignant laisse les élèves valider et qu'ils commettent des erreurs (Horman, 2005). Evidemment s'il s'agit d'une activité d'apprentissage, le risque que les élèves en commettent est grand et cette inquiétude peut transformer le projet en une simple activité de production dirigée. Les élèves risquent aussi d'être inquiets d'assumer leur validation, notamment lorsqu'il s'agit de présenter à leurs pairs (Horman, 2005) ou à l'enseignant un document qui contiendrait des erreurs et risquent alors de chercher une autorité de validation auprès de l'enseignant. Le projet déploie ses effets s'il appartient aux élèves, (Perrenoud, 1998) et la question de la validation risque de remettre en question cette dévolution. La focalisation de ce modèle sur la production nous paraît pleinement en accord avec les présupposés du modèle Matrioshka (Hollenstein, et al., 2003), mais la nature publique de cette production forcément condensée augmente le risque de renforcer une vision de la science comme des faits exacts à apprendre, le « texte du savoir » et faire passer au second plan le développement l'épaisseur métacognitive qui en fait des connaissances scientifiques. Des variantes de ce modèle tentent de corriger ce point en associant une défense orale du produit, par exemple. On perd aussi facilement de vue les processus de construction de connaissance chez l'élève (Perrenoud, 1998).

*PRoblem-based learning* (PrBL) : Apprentissage par problème. Ce modèle est caractérisé par des problèmes ouverts pour lesquels les apprenants cherchent en groupe des solutions et réalisent des tâches qui devraient les obliger à pratiquer les activités cognitives leur permettant de construire les connaissances et d'acquérir les compétences définies par les objectifs. Les problèmes pilotent la progression, les problèmes ne testent pas seulement des compétences, ils permettent le développement des compétences. Les problèmes sont réellement ouverts : il n'y a pas qu'une seule solution, au fur et à mesure qu'on s'informe, la perception du problème et donc de la solution changent.

Il nous paraît que ce modèle convient particulièrement bien aux disciplines où les questions diagnostiques et les interventions pour remédier à un problème sont centrales comme la médecine où c'est un modèle fréquemment utilisé, mais un peu moins à l'investigation scientifique si centrale en biologie.

Un review de ces modèles qui a fait grand bruit (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006) et que certains ont brandi comme la démonstration que seules les « bonnes vieilles méthodes » fonctionneraient brandit comme sous-titre "*the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching*". Il semble qu'une croyance fréquente chez les tenants comme chez les opposants des méthodes pédagogiques d'inspiration constructiviste est qu'il s'agirait de laisser l'élève apprendre tout seul sans intervenir. Nous ne partageons évidemment pas ce point de vue. Et d'autres en ont démontré les limites.

> *Constructivist theories of learning stress the importance of learners being engaged in constructing their own knowledge (Mayer, 2004; Palincsar, 1998). An assumption that*

> *leads to the minimally guided discovery approach is that the learners need to explore phenomena and/or problems without any guidance. This assumption has been repeatedly demonstrated to be flawed (Mayer, 2004). We agree with Kirschner et al. (2006) that there is little evidence to suggest that unguided and experientially-based approaches foster learning. However, IL and PBL are not discovery approaches and are not instances of minimally guided instruction, contrary to the claims of Kirschner et al. Rather, PBL and IL provide considerable guidance to students.* (Hmelo-Silver, Duncan, & Clark, 2007 p. 100). [10]

D'ailleurs Kirschner titre en fait : *"Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work* ». Ainsi, la question n'est pas de savoir *si* des méthodes pédagogiques qui guident très peu l'élève sont efficaces, mais comment guider. Il est tout à fait clair des deux cotés du débat (Tobias & Duffy, 2009) qu'un guidage de l'élève est nécessaire mais les divergences portent sur les moyens et les méthodes par lesquelles ce guidage doit être mis en œuvre. Faut-il guider par la structuration du savoir présenté ou faut-il guider l'activité de l'élève pour développer sa capacité à structurer ses connaissances ?

*Peer Instruction* (Mazur, 1997) est un modèle où l'enseignant fait lire le polycopié à l'avance et remplace le cours par une discussion entre les étudiants (*peers*) stimulée par des « questions conceptuelles » : même dans un grand auditoire, l'enseignant découpe le curriculum en concepts qui sont discutés par les étudiants deux à deux (*peer discussion*), les réponses votées, puis une synthèse faite par l'enseignant. Les résultats mesurés à l'aune d'un test validé, le *Force Concept Inventory* (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992) sont impressionnants : un accroissement de 70% au score du test conceptuel (Mazur, 1997 p.31). Une méta analyse confirme l'efficacité de ce type de modèle (Hattie, 2008).

Nous retenons de ce modèle pour notre projet la focalisation du design sur un nombre limité de concepts qui structurent le chapitre, l'activité dirigée des apprenants sur des niveaux cognitifs élevés, la place centrale de l'argumentation, et la transparence de donner la totalité du cours à l'avance. Il est aussi intéressant de noter que ce dispositif permet une très grande implication cognitive des étudiants sans remettre en question les contraintes organisationnelles telles que le grand auditoire avec des centaines d'étudiants et ne nécessite pas non plus une armée d'assistants.

Il est à noter que ces quatre modèles donnent à l'activité des étudiants une place centrale : les connaissances sont vues comme construites dans l'action plutôt que transmises par les propos et textes de l'enseignant. C'est une position qui nous paraît particulièrement pertinente dans les sciences expérimentales où les savoirs disciplinaires sont construits par l'interaction entre des modèles et le référent empirique (« la réalité ») et où le scepticisme est au cœur, la vérification essentielle.

Dewey, au début du siècle passé, proposait déjà un apprentissage « par enquête » qui fait naître l'apprentissage dans l'action.

> Chez Dewey, il n'existe pas de dualisme entre pensée et "action". L'expérience vécue ou construite par l'enfant est source de connaissance. Cependant, la pédagogie active de Dewey n'est pas un activisme où l'enfant agirait sans désignation des objectifs d'apprentissage. Il ne s'agit pas de « faire pour faire» ou même de « faire pour comprendre », mais de soumettre la pensée à l'épreuve de l'action" Par exemple, les activités de menuiserie pour construire la maquette d'un bâtiment sont l'occasion, pour les

---

[10] Ces auteurs parlent de IL pour Investigation Learning alors que nous avons plutôt employé l'abréviation IBL.

> élèves, de mettre en œuvre des solutions aux problèmes qui vont se poser pour réaliser la maquette. Ils devront ainsi prévoir, mesurer, comparer, calculer, ajuster, rectifier, etc." mais aussi discuter entre eux et réaliser un travail coopératif pour voir aboutir leur projet de maquette. L'enseignant crée les conditions pédagogiques pour stimuler les activités de l'élève et ainsi l'amener à résoudre les problèmes auxquels il sera confronté. (Coquidé, Fortin, & Rumelhard, 2009 p. 49)

Cette position constructiviste est poussée assez loin dans le *Minimalism* (Carrol, 1998) qui vise à minimiser les documents d'instruction pour conduire les élèves rapidement dans des activités qui font du sens et dans lesquelles ils extraient les savoirs contenus dans l'action, les apprenants sont peu protégés de l'erreur, mais le dispositif favorise la récupération et le dépassement des erreurs, les tâches nombreuses et diversifiées permettent l'apprentissage progressif. Nous retenons qu'un dispositif produit des effets d'apprentissage principalement parce qu'il crée un milieu (Brousseau, 1998) qui confronte le système de pensée de l'élève et les remises en question des concepts et leurs rééquilibrages peuvent finalement améliorer ses connaissances. C'est un des principes fondateurs des dispositifs étudiés dans ce projet.

Cette conjecture fonde tout particulièrement un élément de design concernant la gestion pédagogique (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves). Elle conduit aussi à implémenter les apprentissages sous forme d'activités suscitant le questionnement ou mettant en défaut les conceptions pour que les erreurs rencontrées et les perturbations du milieu obligent l'apprenant à revoir ses conceptions et donc à apprendre (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel, ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé)). Elle considère même comme étayage (stimulant) de l'apprentissage de susciter l'erreur dans un milieu qui soutient l'apprentissage plutôt que de tenter d'éviter les erreurs par de longues explications préalables. Il ne faut pas forcément éviter les erreurs des élèves mais parfois les y accompagner pour qu'ils en prennent conscience et les aider à les dépasser (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes). Cela exprime la position constructiviste que les confrontations socio-cognitives peuvent développer les connaissances : c'est la conjecture (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage).

Des artefacts permettant l'activité et la production sans craindre que les imperfections du début aient des conséquences dramatiques peuvent donc étayer l'apprentissage fondant ainsi l'élément de design ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances et ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes.

L'efficacité de ces mesures repose sur un climat de *knowledge improvement* (Bereiter, 2002) focalisé sur l'approfondissement conceptuel qui fonde l'élément de design ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté.

Au-delà des deux modèles par projet et par problème fréquemment mentionnés au moment où notre recherche débute, il en existe de nombreux autres qui ont été catalogués, notamment par (Joyce, et al., 2000), en 4 familles *(1) Modèles sociaux, (2) Modèles de traitement de l'information, (3) Modèles personnels, (4) Modèles behavioristes.* Dans les familles 1 et 2, nous avons particulièrement retenu *Group investigation, Jurisprudential inquiry, Scientific inquiry, Inquiry training* qui ont des caractéristiques pertinentes pour guider la transposition dans la

problématique 4 : l'implication cognitive dans des activités complexes et des questions ouvertes qui font du sens pour l'apprenant, qui développent ses capacités à expérimenter, à construire ses idées en les confrontant à celles des autres ou à l'expérimentation et à synthétiser des informations extrêmement abondantes dans un environnement d'hypothèses courantes.

Ainsi un quatrième modèle, l'investigation ou *inquiry* avec ses variantes a retenu particulièrement notre attention depuis le début de cette recherche vers 2000. Assez peu connu alors de ce côté de l'Atlantique, il est devenu très à la mode depuis quelques années notamment depuis le rapport (Rocard, et al., 2006) et cette approche pédagogique encore peu connue dans les milieux enseignants est actuellement soutenue très officiellement en France et introduite dans les écoles à grande échelle. Nous voulons rappeler que cette recherche ne vise pas à la diffusion militante d'un modèle particulier que nous avons développée, mais fonde son analyse sur les évolutions d'un design de cette catégorie pour proposer des recommandations de design fondées empiriquement qui pourraient aider à concevoir et piloter des designs visant le développement de connaissances scientifiques en biologie.

### 4.3.7 **L'investigation, un modèle pour la construction de connaissances scientifiques ?**

L'enseignement des sciences revendique une forme d'authenticité, nous l'avons vu, notamment par rapport à la démarche scientifique. Au début du vingtième siècle, Dewey décrit un apprentissage par enquête qui est une des premières formes d'investigation dont on trouve – selon une synthèse récente (Coquidé, et al., 2009) – encore les traces dans les modèles actuels du monde anglo-saxon. Les travaux de Celestin Freinet peuvent aussi être vus comme précurseurs de l'investigation parce qu'ils impliquent l'élève dans des enquêtes et explorations du monde extrascolaire « authentique » et dans des productions destinées à favoriser la synthèse ; d'autres situent Freinet plutôt dans les modèles d'apprentissage par projet.

Plus spécifiquement en lien avec la démarche scientifique, depuis les années 70, le monde scolaire s'est saisi d'une formalisation de la démarche scientifique qu'André Giordan a nommé – pour en faire la critique – la méthode OHERIC (Observations, Hypothèses, Expérimentation, Résultats, Interprétation, Conclusion). Ce schéma OHERIC correspond en fait à la reconstitution *a posteriori* d'une découverte, (Grmek, 1973) mais pas au processus réel bien plus complexe et hésitant d'investigation qui a conduit à la découverte comme Giordan (1998) l'a bien montré.

Outre-Atlantique, on a désigné comme un précurseur de l'investigation le *Learning Cycle* de (Karplus & Butts, 1977), un des premiers designs précisément décrits et visant à développer les concepts scientifiques chez l'élève. Le *Learning Cycle* articule trois phases successives de manière cyclique : exploration, introduction ou invention du concept, application du concept. Dans la première phase, les apprenants sont confrontés à des ressources ou matériaux scientifiques dans des environnements authentiques, posent des questions et rassemblent des données. Dans la deuxième phase, un concept central est identifié à partir des données et des questions de la phase une. Dans la troisième phase, les apprenants appliquent le concept à des situations similaires et en explorent la généralité. Le cycle se répète ensuite avec de nouvelles ressources pour développer une compréhension profonde des phénomènes scientifiques.

Nous retenons la nature cyclique comme une caractéristique importante pour construire des connaissances scientifique, la construction des questions à partir de l'interaction avec un environnement le plus authentique possible dans la phase une, le centrage sur un nombre restreint de concepts qui focalisent l'activité des élèves dans la phase deux, enfin la phase trois qui confronte le concept (le modèle que s'est construit l'élève) à plusieurs situations.

L'importance dans l'apprentissage des sciences de l'investigation « *Inquiry »* se manifeste notamment dans les « Standards » recommandés aux USA par le (NRC, 1996), puis en France avec le mouvement « *La main à la pâte* » (Charpak, 1998), qui a connu un grand succès, et plus

récemment le rapport européen (Rocard, et al., 2006), puis d'autres comme le récent projet européen PRIMAS.

Toutes ces initiatives articulent de manière différente les stratégies d'enseignement autour d'un processus d'investigation présenté comme analogue à celui de la recherche. *"Science education reforms call on teachers to adopt inquiry as a central strategy of their teaching* (AAAS, 1993a; NRC, 1996).

Durant notre recherche, il nous semble que l'investigation a passé d'un statut périphérique dans les écoles pour être actuellement, (Labov, Singer, George, Schweingruber, & Hilton, 2009), au centre de la quasi-totalité des nouvelles approches prometteuses de l'enseignement des sciences.

Un projet européen « Mind the Gap » a notamment fait la synthèse des différentes approches :

> *Definitions of Inquiry Based Science Education*
>
> *Inquiry based science education is not a very clear cut and distinct concept and it might be argued that there is no correct definition or unified concept for inquiry based learning methods in science education. Generally the concept refers to learning and instruction designs that engage students in active and authentic problem solving activities that pay attention to diagnosing problems, critiquing experiments, distinguishing alternatives, planning investigations, researching conjectures, searching for information, constructing models, debating with peers, and forming coherent arguments (see for example Linn et al., 2004, Anderson 2006). In our analyses we have distinguished between four dimensions of inquiry based science teaching:*
>
> *i) Authentic and problem based learning activities where there may not be a correct answer (problem based learning)*
>
> *ii) A certain amount of experimental procedures, experiments and "hands on" activities, including searching for information ("hands on" activities)*
>
> *iii) Self regulated learning activities where students' autonomy is emphasized (student's autonomy)*
>
> *iv) Discursive argumentation and communication with peers (argumentation and "talking science")*
>
> *The four dimensions were not designed to be mutually excluding, and the curricula texts might pay attention to all of them in different ways.*
>
> *The analyses show that all country curricula texts link inquiry based science teaching (IBST) to skills of argumentation and communication. All countries further link IBST to practical experiments and "hands' on activities. Students' autonomy is explicitly emphasized in the Danish and UK curriculum text but not in the other countries. Application of science to everyday problems is argued in the Danish curricula text but not so strongly in the other countries' text. Problem based learning and exploratory learning appears in all seven curriculum texts analyzed but imply rather different things in the different textual descriptions. While the Spanish text underscore "strategies for problem solving" as central to define problem-based learning, the French text pays attention to "choice of problematic situations". In the UK texts authentic learning and to "learn how science works" are emphasized while application of science to everyday problems is central to the Danish understanding of problem-based learning. "The budding researcher" is the baseline for the Norwegian curricula understanding of problem based learning. Linguistic and more elaborated in depth analyses in how the different curricula texts understand and define the different notions of IBST would here enrich the analyses further.* (Jorde, 2009 p. 23)

Nous retenons de cette littérature que le design doit rechercher l'authenticité (au paradigme de recherche) du milieu (au sens de Brousseau) dans lequel les élèves se trouvent.

Nous faisons donc la conjecture que le dispositif doit encourager l'implication cognitive de l'élève, favoriser l'autonomie et l'autorégulation de l'élève, et faire une place au débat et à l'argumentation afin de développer des connaissances scientifiques.

La réflexion sur les apports possibles d'un support technologique aux dispositifs d'investigation s'est faite en parallèle dans d'autres cadres de recherche et nous avons emprunté à ces deux champs des concepts et des approches qui ont fécondé cette recherche.

Les premières implémentations des dispositifs dans lesquels cette recherche s'ancre ont été d'abord développées dans le cadre de TECFA comme des environnements technopédagogiques, conceptualisés dans un cadre de référence d'enseignement supporté par les technologies *Computer-Supported Collaborative Learning* (CSCL). Nous traiterons plus loin des apports théoriques de ce domaine de recherche, mais nous y avons trouvé un précurseur de l'apprentissage par investigation scientifique : le « Interrogative Model of Inquiry (I-Model) » proposé par (Hintikka, 1992) qui place les questions au centre du dispositif. Nous y trouvons une conceptualisation de l'apprentissage de la science à la fois comme un processus de construction de connaissances nouvelles par les élèves – largement développée aussi par (Scardamalia & Bereiter, 1996), et comme un processus organisé par l'élaboration des questions guidant ce processus.

> *Learning, analogously with scientific discovery and theory formation, is a process of working toward more thorough and complete understanding. Although students are learning already existing knowledge, they may be engaged in the same kind of extended processes of question-driven inquiry as scientists and scholars.* (Hakkarainen & Sintonen, 2002 p. 27)

Ce I-Model accorde aux questions et à leur construction progressive une place cruciale : il leur donne un rôle de guidage et d'orientation mais explicite en particulier comment les questions générales sur les mécanismes conduisent l'investigation par des sous-questions plus précises qui permettent de revenir sur les questions plus larges :

> *A specific category of questions, viz. explanation-seeking why-, how-, a specific category of questions, viz. explanation-seeking why-, how-, and some classificatory what-questions, to the heuristic and pedagogic value of a joint attempt to make these questions more precise and to find information which serves the purpose of constructing answers.* (Hakkarainen & Sintonen, 2002 p. 26)

Ces auteurs montrent comment l'investigation peut susciter une construction progressive des questions générales et vagues au début par des questions plus précises pour revenir aux questions du départ avec plus de sens. D'ailleurs (Scardamalia & Bereiter, 2006) défendent l'idée que puisque les mêmes principes fondamentaux sous-tendent les phénomènes, si on creuse suffisamment dans les phénomènes, on arrive forcément vers ces principes que nous appellerons concepts structurants (au sens de (Wiggins & McTighe, 2000), c'est-à-dire qui relient et donnent du sens). Nous appellerons cet effet de convergence force conceptuelle centripète et l'exploiterons dans le guidage de l'investigation.

Nous soulignons que les questions comme elles sont posées à la fin ne sont souvent pas les questions posées au début. Cette évolution des questions peut rassurer sur l'efficacité pédagogique des dispositifs d'investigation face à une inquiétude de nombreux enseignants qu'on ne traite pas les « bonnes questions » si on laisse les élèves choisir les questions. D'autant plus qu'on insiste sur la dévolution des questions.

Effectivement, il y a une tension entre la dévolution aux élèves des questions et le guidage vers une forme de savoir reconnue : *"a trade-off between valuing students' ideas and guiding them toward an acceptable understanding of content*" (Hammer, 1997 p. 514). Cela se traduit chez les enseignants par l'inquiétude qu'une dévolution des questions puisse esquiver les concepts cruciaux – souvent ardus – et reste dans l'étude de questions triviales, que les « bonnes questions » ne soient pas traitées, il y a alors le risque d'évacuer l'autonomie du dispositif (Sandoval & Daniszewski, 2004).

Des dispositifs supportés par un environnement technopédagogique approprié peuvent mener les apprenants de questions vagues vers une exploration scientifique rigoureuse et efficace (Hakkarainen & Sintonen, 2002). Le centrage sur les questions mène à distinguer des questions de recherche larges (de mécanisme sous-jacent pour la biologie) «*explanation seeking*» et souvent difficiles à aborder, qui suggèrent des questions subordonnées plus précises « *wh-questions (i.e., who-, where-, when-, and which questions* » et plus faciles à traiter, qui conduisent à redéfinir les questions de départ. Ces auteurs suggèrent que même de jeunes enfants peuvent produire des questions complexes et fécondes, c'est-à-dire dont la réponse serait un avancement significatif de la connaissance.

> *Scardamalia & Bereiter's (1992) study indicated, further, that if students were asked to generate questions before introducing a new topic, they were likely to ask knowledge-based questions, i.e., questions derived from their need to understand and focused on things they were genuinely interested in and wondered about.* (Scardamalia & Bereiter, 1992 p. 30)

Parfois, le seul fait de poser la question autrement est un progrès dans la connaissance. Qu'on pense à la manière d'interroger les liens entre ADN et protéines qui a pris une tout autre dimension quand (Crick, 1970) a posé le problème en termes d'information plutôt que de formes complémentaires, comme l'a montré (Strasser, 2006b). Ainsi, une construction progressive des sous-questions revenant sur les questions globales est un axe fort des dispositifs d'investigation. Nous verrons qu'il s'articule avec des confrontations au référent expérimental par des ressources qui peuvent être expérimentales, d'observation ou écrites.

> *As a result, the Interrogative Model of Inquiry conceptualizes a dynamic process of inquiry through which new knowledge and understanding emerge by separating two types – and levels – of questions (Hintikka 1985; Sintonen 1984). On one hand, there is an initial principal or big question, which is determined by the cognitive goals of inquiry. On the other hand, there are small subordinate questions to which answers are needed in order to approach the principal question. Principal questions are often explanation seeking in nature and arise when an agent tries to fit new phenomena to his or her already existing knowledge. The two levels of questions differentiated by the model are a dynamic feature that fosters acquisition of new information during the process of inquiry (Sintonen 1993). The inquirer tries to answer the big question through using his or her existing knowledge and new information obtained in the form of answers to a series of subordinate questions. Advancement of inquiry can be captured by examining a chain of questions generated. By finding answers to subordinate questions, an agent approaches step by step toward answering the big initial question, and thus changes his or her epistemic situation. That new questions are generated from one's original question in a successful process of inquiry has been pointed out by several cognitive researchers (Ram 1991; Scardamalia & Bereiter 1992; Simon 1977).* (Hakkarainen & Sintonen, 2002 p. 28)

Ainsi, questionnement construit et construction de connaissances sont deux facettes d'une même approche de pratiquer la science en classe.

Nous faisons alors la conjecture que le guidage par les questions et leur construction progressive peut garantir que les élèves soient focalisés sur l'investigation des concepts et notions importantes. Cela fonde l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs et une partie de la conjecture CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources.

William Sandoval définit l'investigation ainsi :

> *Inquiry is typically defined as the process of investigating natural phenomena through posing questions, designing investigations to answer them, collecting and interpreting data, and drawing conclusions. The crucial difference between current formulations of inquiry and the traditional "scientific method" is the explicit recognition that inquiry is cyclic and nonlinear.* (Sandoval, 2004 p. 216)

Cette définition correspond bien aux réflexions qui ont sous-tendu le développement du dispositif étudié dans cette recherche : elle met au premier plan le travail sur les questions, la nature cyclique, itérative de l'investigation et l'idée que l'apprentissage se produit au cours d'un processus élaboré de construction de réponses à ces questions.

Nous retenons tout particulièrement que le questionnement de l'élève est un des moteurs de l'apprentissage attendu, mais aussi que ces questions en orientent le parcours. La manière dont se fait le choix des questions, leur élaboration, les modalités de leur négociation sont parmi les paramètres les plus cruciaux pour la construction et le pilotage des designs d'investigation scientifique.

Considérons une autre définition issue du Projet *Mind The Gap* : *"Inquiry can be considered a specific mode of didactic contract (Brousseau, 1998), where in particular the students' productions are the starting point of the teacher's work."* (Bueno-Ravel, Forest, Gueudet, & Sensevy, 2010 p. 2)

Elle a souvent été reformulée comme un contrat didactique dans lequel l'élève exerce une responsabilité importante vis-à-vis du savoir, et où l'enseignant s'appuie sur les productions des élèves pour faire avancer le savoir en classe.

Nous relevons deux points : si l'investigation est décrite comme un contrat didactique : i) il s'agit d'une forme particulière de relation entre l'enseignant et les élèves, et ii) ce contrat attribue à l'élève un rôle de producteur de connaissances.

Sur le premier point, l'investigation manifeste une tension – un paradoxe – qui découle d'une vision constructiviste : l'apprentissage ne peut se faire que si l'élève le veut, mais l'enseignant a le devoir social qu'il apprenne (Brousseau, 1998). Considérant qu'il y a forcément un contrat didactique – fut-il paradoxal – force est de constater que l'investigation est une manière particulière et pour le moins inhabituelle d'articuler les relations élèves - enseignant, elle met en jeu de manière peu courante les attentes et les représentations à propos de soi et des autres individus.

Les résultats éducatifs de l'investigation sont donc très dépendants du rapport que l'enseignant entretient avec les élèves, or ce sont des variables extrêmement difficiles à mettre en évidence dans notre type de méthodologie. Nous les avons dans un premier temps écartés, mais avons retenu pour l'analyse que ce rapport est un facteur à prendre en compte pour discuter les résultats Cf. par exemple (Boimare, 2002).

Nous n'explorerons donc pas de manière approfondie dans ce cadrage les questions sociales et psychologiques du rapport à l'autorité (Meirieu, 2005) que le scepticisme scientifique soulève – notamment la manière dont certains élèves pourraient ressentir l'incitation à ne pas s'appuyer sur l'autorité de l'enseignant voire de la contester dans le processus de validation. Certains de nos

résultats, des lectures et des communications de chercheurs internationaux suggèrent cependant qu'elles pourraient bien être un enjeu culturel qui mériterait d'être étudié.

Sur le deuxième point, elle met en jeu les représentations de l'enseignant sur la capacité de l'élève à construire des connaissances plutôt qu'à les *re*produire.

> *The majority of failed efforts at knowledge building we have seen fail to deal with problems that are authentic for students and that elicit real ideas from them. Instead of connecting to the larger world of knowledge creation, the tasks or problems are mere exercises and are perceived by the students as such. At the deepest level, knowledge building can only succeed if teachers believe students are capable of it. This requires more than a belief that students can carry out actions similar to those in knowledge-creating organizations and disciplines. It requires a belief that students can deliberately create knowledge that is useful to their community in further knowledge building and that is a legitimate part of the civilization-wide effort to advance knowledge frontiers.* (Bereiter, 2002 p. 124)

L'autonomie des apprenants est un critère important pour la qualité de l'investigation présenté dans (Kali & Linn, 2007) : ils distinguent 4 niveaux d'investigation selon si l'élève reçoit, doit élaborer la question, les méthodes, les solutions. Il en découle quatre niveaux :

1) investigation de confirmation (l'élève reçoit la question, les méthodes, les solutions),
2) investigation structurée (l'élève reçoit la question, les méthodes, mais élabore les solutions),
3) investigation guidée (l'élève reçoit la question, mais élabore les méthodes, les solutions),
4) investigation ouverte (l'élève élabore la question, les méthodes et les solutions).

Les auteurs proposent un étayage diminuant progressivement (*disappearing scaffold)* depuis le niveau 1 jusqu'au 4. Les niveaux successifs mettent de plus en plus à contribution la capacité de l'élève à produire ses propres connaissances et à les partager sous forme de savoirs nouveaux dans la classe.

Si l'enseignant ne voit pas l'élève comme un être capable de produire des savoirs valables socialement et au moins localement nouveaux, la construction de connaissance – scientifique ou autre – ne risque pas de se produire à cause de l'effet Pygmalion (Rosenthal & Jacobson, 1968).

Nous estimons que cette croyance chez l'enseignant est une condition pour l'établissement d'un climat d'amélioration de la connaissance (dont nous avons argumenté qu'il est nécessaire au succès de l'investigation) Cela fonde l'élément de design ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables. Il n'est pas certain que cette condition soit souvent atteinte.

### 4.3.8 **Quel rapport à l'autorité ?**

Toujours sur ce deuxième point, mais sous l'angle des élèves, l'investigation met en jeu les croyances épistémiques et les représentations des élèves sur l'efficacité de dispositifs nouveaux. Les élèves peuvent être surpris de devoir s'impliquer pour construire des connaissances alors qu'ils considèrent que c'est le travail de l'enseignant de leur préparer et leur diffuser des savoirs. Par exemple, la qualité des savoirs qui sont énoncés en classe – vraisemblablement moindre quand ce sont les élèves qui présentent – a souvent été mentionnée par les élèves avec inquiétude, comme une crainte d'apprendre des « choses fausses ». D'autres élèves ont exprimé un sentiment d'injustice, voyant un manquement de l'enseignant à son rôle. L'idée même qu'on

puisse apprendre sans que les savoirs viennent de l'enseignant est un contrat didactique inhabituel, peut-être une idée séditieuse et pourrait faire craindre qu'on n'apprenne pas assez bien dans ces dispositifs.

« Les élèves ne résistent pas tant à l'apprentissage qu'aux situations dans lesquelles ils redoutent de ne pas réussir à apprendre » (Houssaye, 1993) : si les élèves pensent par exemple que « dans ce genre de méthodes nouvelles on perd son temps et il faut tout faire à la maison après » (propos d'enseignant hypothétique), ils ne vont pas s'investir, ce qui risque bien de confirmer leur prédiction (prévision autoproductrice : *self-fulfilling prophecy*).

La tolérance à l'incertitude des élèves est apparue dans notre recherche comme un facteur important dans l'investissement des élèves ce que confirme certaines recherches (Sandoval & Morrison, 2000). En effet, ils sont amenés à travailler sur des textes de validité incertaine, produits par leurs camarades, alors que classiquement ils reçoivent des documents validés par l'enseignant. Il nous paraît que la validation ne peut pas se faire sur des documents prescrits et qu'il est indispensable de confronter les élèves à des documents de qualité variable si on veut qu'ils valident eux-mêmes.

> Les résultats montrent que c'est bien le caractère conflictuel des réponses émises par les partenaires qui favorise les progrès et pas seulement le fait d'être confronté à une réponse de niveau supérieur. En effet, les enfants progressent lorsqu'ils sont confrontés à une réponse correcte, partiellement correcte, tout aussi incorrecte que la leur ou même moins correcte. Il faut toutefois que les réponses proposées soient régies par une logique interne ; la confrontation à un modèle aberrant ne stimule pas de progrès. (Bourgeois & Buchs, 2011) en référence à (Doise & Mugny, 1997)

Nous défendrons alors l'idée que l'imperfection des documents produits par les camarades, loin d'être un problème, est nécessaire à la pratique du processus scientifique. Cela fonde en partie l'élément de design ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène.

Nous avons discuté plus haut que le retrait de l'autorité de l'enseignant hors de cette validation pourrait être un inconfort très hétérogène chez les élèves. Nous voyons ici que l'incertitude liée à la responsabilité de valider peut être un facteur de déstabilisation ou de difficulté à investir le dispositif de sa confiance. Piaget l'avait montré sur le plan pédagogique et sur le plan psychologique, (Cifali, 2007) a montré combien apprendre est toujours – peu ou prou – angoissant.

> C'est aussi ce que dit aussi Mireille Cifali (1994), sur un mode clinique. Elle rappelle qu'apprendre est toujours angoissant, parce que le savoir bouscule les certitudes, remet en cause les repères et fragilise les défenses. Pour certains, ce n'est là qu'une inquiétude légère qui peut même fonctionner comme un défi positif, alors pour d'autres, l'évitement de l'apprentissage apparaît comme une mesure de survie. D'autant qu'échouer a ses petits bénéfices et peut finalement leur sembler moins risqué... même si c'est pédagogiquement aberrant. (Astolfi, 2008 p.70)

Bien que le terrain clinique ne soit pas du ressort de cette étude, nous retenons qu'apprendre peut être plus ou moins déstabilisant selon les caractéristiques psychologiques de l'apprenant.

Nous renvoyons à (Tschannen-Moran, 1997) pour la question de la confiance dans l'école. Ils relèvent plusieurs facteurs de cette confiance :

> * *Vulnerability is essential to trust because trust is only an issue in relationships of interdependence in which one party relies on another for something they care about or need. Vulnerability creates the potential for betrayal or harm if one party does not live up to the expectations of the other.*

> * *Benevolence is the confidence that "one can count on the good will of another to act in one's best interest" (p. 19). In other words, in a trusting relationship, you can assume that the other party wouldn't willingly act a way to cause you harm.*
>
> * *Honesty refers to a person's character, integrity, and authenticity. People are perceived to be honest through their actions, such as sharing truthful information or consistently following through on promises.*
>
> * *Openness refers to the process through which people share information, influence, and control. These can symbolize power within a relationship, and it is how this power is used that can influence trust.*
>
> * *Reliability is the sense that one person is able to depend on another, and that behaviors will be predictable from situation to situation.*
>
> * *Lastly, Competence is "the ability to perform a task as expected, according to an appropriate standard," or essentially the perception of how well you perform a task or job according to understood expectations* (Tschannen-Moran, 1997 p. 30)

Il est intéressant de relever que la confiance dépend de plusieurs paramètres parmi lesquels la vulnérabilité – des enseignants aussi – peut surprendre. Elle pourrait s'opposer à certaines représentations du rôle de l'enseignant et paraître affaiblir la compétence de l'enseignant. Nous tenterons de résoudre un peu plus loin ce paradoxe en distinguant les plans sur lesquels la compétence de l'enseignant doit s'affirmer et ceux sur lesquels sa vulnérabilité ou en tous cas la reconnaissance de sa faillibilité peut créer des opportunités de validation.

L'ouverture et l'honnêteté sont aussi des paramètres importants (Tschannen-Moran, 1997) et le souci de leur manifestation fonde en partie un élément de design ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur.

Nous considérons donc qu'un climat ouvert, honnête, bienveillant, respectueux et consistant fonde la confiance. Nous adhérons à la position de Philippe Meirieu :

> À partir du moment où l'élève comprend le sens de ce qui lui est demandé, à partir du moment où il sent dans le maître un accompagnateur qui est là pour l'aider et non pour l'épier ou surprendre ses faux-pas, il accepte de "travailler". (Meirieu, 1993a)

Notre expérience suggère qu'il faut prévoir de créer dans le temps cette confiance de l'élève dans le dispositif : par exemple lorsqu'un dispositif a été implémenté durant plusieurs années, les traces de succès et des témoignages des implémentations précédentes pourraient aider des élèves sceptiques à accorder leur confiance à ce dispositif car l'autorité de l'enseignant – et des dispositifs qu'il propose – n'est plus automatique. Hors de l'école, l'élève est confronté à de nombreuses sources (TV, Web, Blogs, e-mail, presse gratuite,…) qui viennent inévitablement compléter – et parfois remettre en question – ce que l'enseignant aurait dit et présenté, et risquent parfois de le disqualifier. Nous avons vu (Besley & Tanner, 2011) que la télévision et internet étaient les principales sources d'information en sciences.

Ces attaques sur l'autorité scientifique de l'enseignant mettent en évidence la nécessité de distinguer une autorité qui valide – décide ce qui est juste – d'une autorité éducative qui cadre et guide l'élève vers les apprentissages.

Par ailleurs et de manière plus critique par rapport à la connaissance scientifique, certaines recherches suggèrent que l'autorité scientifique du maître, bien affirmée, peut être un *frein* à l'apprentissage :

> Ainsi, les travaux sur le développement social de l'intelligence ont-ils montré que dans l'apprentissage social, lorsqu'on imite ceux qui sont en possession des connaissances requises, on copie en réalité sans apprendre. (Doise & Mugny, 1997)

Nous y voyons une confirmation de l'importance de dévoluer aux élèves la validation des connaissances, c'est-à-dire de renoncer progressivement à l'autorité scientifique du maître ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves.

Nous retenons de la lecture de quelques auteurs sur l'autorité dans l'éducation (J. Lombard, 2003; Meirieu; Prairat, 2003; Robbes) un concept central : de distinguer une autorité que nous appellerons pédagogique (qui donne à l'élève la confiance qu'on peut apprendre avec cet enseignant-là, dans ces dispositifs-là, avec ces pairs-là) de l'autorité scientifique, disciplinaire. Cela fonde l'élément de design ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant).

Meirieu nomme la première *autorité éducative* : pour lui, elle permet à l'élève de penser par lui-même en l'aidant à parvenir à un rapport critique à la vérité. De plus, la connaissance scientifique exige, pour qu'un élève puisse lui-même décider de la validité d'une information, qu'il renonce à la facile adhésion à une autorité pour effectuer le chemin de validation scientifique qui donnera de l'épaisseur à sa connaissance.

Le développement de la capacité à construire des connaissances scientifiques nécessite donc une remise en question du rôle de l'enseignant dans la validation pour développer la capacité de validation autonome par l'élève et lui permettre d'affronter la complexité.

Par contre, cela met encore plus en évidence son rôle d'autorité pédagogique dans la création d'un milieu qui donne confiance et qui permet d'apprendre. La structure du design fonctionne comme un cadre qui permet la liberté des élèves et incarne une part de l'autorité pédagogique. Nous considérons que définir un cadre, c'est laisser la liberté à l'intérieur de ce cadre, ne pas le définir, c'est conserver – ou tenter de conserver – le contrôle permanent sur l'élève (Perrenoud, 1995b). Aussi, organiser le degré de liberté adapté aux élèves dans la structure du design contribue au développement de l'autonomie nécessaire à la pensée scientifique. Cela fonde l'élément de design ED26 : L'autorité pédagogique peut être inscrite dans la structure du design afin de délimiter un cadre qui délimite mais donne la liberté aux élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle.

On peut distinguer (Robbes, 2006) trois formes d'autorité : l'autorité statutaire qui découle de la fonction, l'autorité d'auteur et l'autorité de compétence. C'est sans doute cette dernière sur laquelle s'appuie habituellement le jugement des élèves pour accorder leur confiance et s'investir : « cette erreur, qui consiste à considérer que l'autorité de l'enseignant se fonde exclusivement et a priori sur le savoir qu'il possède » (Robbes, 2006 p. 3).

Or il y a une tension entre la validation par les élèves et la manifestation du savoir scientifique de l'enseignant. Dans l'investigation, à force de conduire les élèves à chercher la validation scientifique dans les expériences et les ressources bibliographiques, l'enseignant a peu d'occasions de faire la preuve de sa compétence disciplinaire. Si au contraire il la démontre, il risque de réduire les opportunités de validation qui restent aux élèves. C'est un paradoxe pédagogique : « Le maître veut que l'élève ne tienne la réponse que de lui-même, mais en même temps il veut, il a le devoir social de vouloir, que l'élève donne la bonne réponse. » (Brousseau, 1998 p. 325).

En conséquence, nous faisons donc la conjecture qu'un dispositif permettant d'établir l'autorité éducative (Robbes, 2006) de l'enseignant – indépendante de son autorité de savoir et statutaire – doit être mis en place pour que les élèves construisent une représentation efficace du dispositif d'apprentissage permettant leur investissement.

Nous avons vu l'importance de dissocier deux formes d'autorité de l'enseignant : pédagogique à affirmer et scientifique à estomper pour laisser à l'élève l'opportunité de valider et pratiquer ainsi une des caractéristiques de la science. L'autorité pédagogique est une dimension sous-

estimée du rôle de l'enseignant que la littérature a mise en évidence dans le contexte de l'investigation : l'autorité sur la nature des activités et des productions, leurs qualités, c'est-à-dire les formes qu'elles doivent prendre, les qualités épistémiques des productions, la définition des critères de progression dans les productions, l'organisation des débats et des modalités de confrontations, mais aussi les délais, etc.

> Les gains d'apprentissage des élèves sont particulièrement importants lorsque l'enseignant est, à la fois clairement orienté vers les connaissances et les compétences à maitriser et qu'il exerce un contrôle strict sur les tâches à réaliser de manière générale, il est peu productif de laisser aux élèves le choix des activités. Bien plus, le rythme de progression dans les tâches doit être sous le contrôle de l'enseignant. (Crahay, 2006 p. 130)

Pour synthétiser cette section, nous faisons donc la conjecture que le contrôle des objectifs (donc la validation des questions traitées), des activités, des caractéristiques des productions, les échéances et le *workflow*, la régulation des groupes, etc. doivent être clairement de la responsabilité de l'enseignant alors que l'autorité scientifique de validation doit reposer dans des ressources plus authentiques dans le paradigme de recherche. Cela fonde solidement l'élément de design ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant). Une part importante de ce cadre doit être inscrite dans l'organisation du dispositif, ce qui fonde en partie l'élément de design ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves.

### 4.3.9 **Les formes et les effets pédagogiques de l'évaluation**

L'évaluation est un sujet sensible qui détermine les apprentissages plus peut-être que toutes les autres variables d'un dispositif. On a affirmé que les élèves apprennent ce qui est évalué, qu'ils devinent au travers des indications et des propos de l'enseignant et parfois malgré ses propos ce qui va être testé dans les examens et que cela dirige leurs apprentissages effectifs (Perrenoud, 2004).

Nous ne développerons pas en profondeur un thème aussi large, mais décrirons sommairement ici notre conceptualisation qui sous-tend le dispositif. Nous esquisserons une brève synthèse de littérature sur le sujet et y intègrerons les modèles d'actions issus de l'analyse des implémentations du dispositif au cours des années pour décrire les conjectures qui fondent le dispositif.

On peut distinguer les formes d'évaluation formatives et certificatives. Sans approfondir, disons que les premières manifestent l'écart entre les productions des élèves et les objectifs mais les formulent en termes d'activités, de productions et de changements permettant de progresser vers les objectifs. Les secondes mesurent l'écart entre des productions d'élèves et les objectifs afin d'attribuer des notes et de permettre l'obtentions de diplômes ou le passage au degré supérieur. On sait les difficultés d'articuler ces deux formes d'évaluation.

> Rappelons les critères qui définissent une évaluation véritablement formative :
>
> - Intention de formation, de dépassement d'obstacles, d'aide plus individualisée (et non pas volonté de contrôle des résultats, de l'ensemble des élèves d'une classe, par exemple).
>
> - Miroir pour l'enseignant qui constate les effets de son action (et non action tournée uniquement vers les élèves).
>
> - Fait partie intégrante du processus d'apprentissage (ne se situe donc pas uniquement en fin d'étude).
>
> - Implique que l'on remédie aux manques constatés (ne vise donc pas uniquement les contenus).

> - Est liée à une pédagogie de la réussite (n'induit donc pas automatiquement notation, validation et parfois sélection et sanction). (De Vecchi, 2006 p. 235)

Ainsi, l'évaluation formative accompagne et soutient l'apprentissage, fournit des repères, guide et développe la confiance de l'élève, manifeste la croyance que l'élève peut apprendre.

Les pratiques traditionnelles à Genève (et probablement ailleurs) ne distinguent pas très formellement ces deux types, aussi les élèves ne sont pas habitués à accueillir comme une aide, mais plutôt comme un jugement les remarques des enseignants sur leurs productions (Jorro, 2000). L'évaluation est plutôt vécue comme une menace pour leur sentiment de compétence (Butera, et al., 2006) probablement par les élèves qui en ont le plus besoin. Dans ce contexte, une bonne note est aussi un encouragement dans la discipline et une mauvaise note est un facteur de démotivation (Bouffard, Brodeur, & Vezeau, 2005). On peut dire que l'évaluation est une action pédagogique autant qu'une mesure de connaissances (Hadji, 1997). Il en résulte que beaucoup prônent une pression forte sur les élèves pour les inciter à travailler alors que de nombreux travaux suggèrent fortement que cette pression est contre-productive (Butera, Buchs, & Darnon, 2011) pour les apprentissages.

Pour maximiser les apprentissages, certains sont donc tentés de mettre de bonnes notes aux élèves faibles pour les encourager, mais on voit que ce serait incompatible avec une évaluation des réelles connaissances manifestées et la validité des certificats acquis.

Beaucoup d'enseignants n'arrivent pas à sortir de ce dilemme qui n'existe que dans une logique d'évaluation certificative permanente. Nous estimons qu'on peut sortir de ce dilemme par une claire distinction entre des moments d'évaluation formative encourageante (Pulfrey, Buchs, & Butera, 2011) qui aident à progresser dans les apprentissages et des moments de certification où les connaissances et compétences sont évaluées sans complaisance.

Durant les phases d'apprentissage – qui sont la majorité du temps dans le dispositif étudié ici – l'évaluation peut donc être utilisée comme une manière d'influencer la motivation et donc d'orienter les actions des élèves vers les activités qui produisent l'apprentissage.

D'ailleurs le projet S-TEAM conclut de manière assez proche avec la recommandation :

> - Instaurer une évaluation formative qui soit : tournée vers l'identification des progrès de chaque élève dans sa propre maitrise des compétences visées ; ouverte à la prise en compte des différentes ressources externes à l'élève et nécessaires à la résolution d'un problème, même durant les tests évaluatifs ; sous-tendue par l'autorégulation de leurs apprentissages par les élèves eux-mêmes. (Grangeat & Aubert, 2004 p. 44)

Nous avons discuté plus haut l'importance d'un climat de confiance et conjecturons donc que l'évaluation – qui est un point très sensible de la relation de confiance entre les élèves et l'enseignant – doit être très clairement reliée aux démarches effectuées et que les élèves doivent avoir conscience des critères de l'évaluation. Cela fonde l'élément de design ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves. Nous pensons que cet alignement développe la confiance dans le dispositif et l'investissement des élèves et une abondante recherche indique qu'il est un facteur d'efficacité des apprentissages (Brophy & Good, 1986).

Pour ces deux raisons, les objectifs devraient donc être explicitement partagés dès le début des activités d'apprentissage et guider effectivement l'activité, c'est l'élément de design ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur.

Le dispositif propose aux élèves de nombreux exemples de questions possibles d'examen et les questions qui ont guidé l'investigation sont souvent celles des évaluations, parfois elles peuvent être reformulées ou groupées ou instanciées autrement, mais celles des examens doivent être

perçues comme similaires à ce qui a été pratiqué durant le semestre. Il s'agit d'aider les élèves à focaliser leurs apprentissage sur ce qui va être testé, c'est-à-dire les objectifs.

> Je me souviens de mon vieux professeur de mathématiques de terminale. Il nous disait « Messieurs, je vous donne le sujet du contrôle avant le cours et non pas après ; vous avez bien compris pourquoi : c'est parce que le cours ne vous intéresserait pas si je vous donnais le sujet du contrôle après, je vous le donne donc avant. Bien évidemment je ne suis pas naïf ; donc je vous donnerai un autre sujet pour le contrôle, mais le fait que vous en ayez un sous les yeux fait qu'au moins vous saurez ce que vous devez écouter dans ce que je dis». Je crois qu'il avait bien compris comment fonctionne l'attention. (Meirieu, 2003 p. 5)

Aussi – dans une perspective *minimaliste* (Carrol, 1998) pour l'efficacité de la communication – le dispositif prévoit de nombreuses échéances d'évaluation dans le semestre afin que les critères de l'évaluation soient bien compris, et l'alignement (Biggs, 1999) objectifs – activités – évaluation soit manifesté. Cela contribue à fonder deux éléments de design (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves, ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables).

Notre conceptualisation des effets de l'évaluation notée sur la motivation se heurte à un paradoxe que nous n'avons pas complètement résolu. Nous avons conjecturé de l'importance de distinguer apprentissage et évaluation (qui fonde l'élément de design ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance). Il en découle que l'évaluation certificative devrait être réservée aux examens de fin de période et les interventions d'évaluation devraient être formatives durant la majorité du semestre. Une conceptualisation simple des théories de la motivation suggère que les résultats notés sont du ressort de la motivation extrinsèque et réduisent la motivation intrinsèque. Les implémentations du dispositif ont conduit à voir les notes comme une récompense symbolique attendue par les élèves renforçant la motivation intrinsèque. Le paradoxe pourrait se résoudre en partie si l'on considère les notes comme un facteur conduisant à des stratégies d'évitement de l'échec comme le suggèrent (Pulfrey, et al., 2011). Ainsi, un climat où la crainte de l'échec est limitée pourrait résoudre le paradoxe. Or dans le dispositif étudié, l'investissement important des élèves a pu leur faire obtenir des notes favorables en général, ce qui aurait contribué à leur investissement malgré des notes nombreuses. On peut aussi évoquer la dissonance cognitive (Festinger, 1957) et plus particulièrement la théorie de l'engagement (Joule, 2002) pour expliquer la persistance de leur investissement malgré les difficultés. Ce point pourrait encore être approfondi, mais nous retenons l'importance d'un feed-back encourageant, respectueux mais sans complaisance, une évaluation formative qui signale les incohérences et oriente vers des sources ou expériences permettant de progresser.

### 4.3.10 **Les formes et l'effacement de l'étayage**

Nous avons vu plus haut que l'étayage fait partie des stratégies pour favoriser l'apprentissage, nous allons discuter ici comment les technologies dans le dispositif peuvent contribuer à ce soutien de l'apprentissage de l'élève.

La littérature nous a aidé à distinguer deux mécanismes par lesquels les technologies peuvent soutenir l'apprentissage : la structuration de la tâche et la « problématisation » du contenu (Reiser, 2004 p. 282). La structuration peut prendre la forme de catégories à traiter, de plan guidant la rédaction, de questions qui aiguillent vers les aspects importants. Ce qu'il appelle « problématisation » vise à confronter l'apprenant à un milieu qui bouscule ses conceptions, suscite la curiosité, met en évidence des données, des observations ou des arguments

susceptibles de créer le conflit cognitif. Il s'agit donc progressivement de moins structurer, guider, pour plutôt encourager, voire obliger les confrontations avec le problème ou la complexité. Nous emploierons l'expression d'étayage stimulant pour distinguer de la problématisation comme processus de construction d'une question située dans un champ de connaissances qui lui donne du sens.

Nous faisons donc la conjecture que le dispositif doit être très guidant au début, puis progressivement transférer la prise en charge de certains rôles vers l'élève afin de poursuivre son apprentissage en vue de permettre son exercice autonome des compétences visées. Par exemple, les élèves recevront des consignes très précises sur les ouvrages à consulter pour chaque question à traiter au début, puis progressivement recevront la responsabilité du choix avec des consignes portant sur les caractéristiques de la production attendue (ce qu'est une « bonne réponse »). Pour la validation en particulier, cela fonde l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves).

Une autre raison de réduire l'ampleur de l'étayage structurant est – nous l'avons argumenté plus haut – la nécessaire confrontation avec un large éventail de qualité des ressources pour apprendre à valider (ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène). En effet, un enseignant qui intervient trop vite dès l'apparition d'erreurs pourrait empêcher les élèves d'assumer la décision d'acceptation ou de rejet d'une source, de décider dans quelle mesure une information est étayée suffisamment, ou justifier le degré de validité qu'il lui attribue. Il s'agit en d'autres termes de passer d'un étayage structurant à un étayage stimulant, cela fonde notamment ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes). Un étayage structurant trop durable peut nuire à la progression des apprentissages (McNeill, Lizotte, Krajcik, & Marx, 2006). On doit différencier le degré de soutien en fonction des phases de découverte, d'exercice et d'évaluation de la compétence.

De plus, nous pensons que de voir ces paramètres comme une variable unique et linéaire – un simple degré de soutien – ne prend pas en compte la complexité des effets de différents aspects du soutien. Sur quoi porte le soutien nous paraît être une dimension importante : reprenant les facteurs de l'étayage de (Bruner, 1960), nous pensons que le soutien sur les facteurs liés à la compétence qui est en cours d'apprentissage – la validation scientifique ici – doit s'effacer progressivement, mais que dans les autres dimensions, le soutien doit être maintenu et peut-être accru. Ainsi, la « réduction des degrés de liberté » doit sans doute s'effacer, mais on devrait maintenir le « maintien de l'orientation », la « signalisation des caractéristiques déterminantes » et peut-être même accroître le soutien sur les paramètres motivationnels comme le « contrôle de la frustration ».

Nous faisons donc la conjecture que ce nouveau contrat didactique doit être vu comme un processus qui s'élabore dans le temps avec des étapes, qu'il est prévisible que les élèves et l'enseignant marquent un certain inconfort lié à l'incertitude et au transfert de responsabilité et que l'on doit prévoir des opportunités pour rassurer en démontrant son efficacité, cela contribue à fonder un élément de design (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves).

#### 4.3.11 **Une production concrète supporte la construction des questions et des connaissances**

Nous avons vu que l'investigation est un processus de questionnement qui oriente la construction de connaissances. Nous allons discuter de l'importance d'une production concrète – notamment d'écriture – pour étayer ce processus.

Une première raison pour inclure des activités d'écriture est que ces productions supportent la clarification de la pensée par l'écriture (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet

des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage), qui sera développée plus bas.

Nous verrons que ces écrits peuvent avoir une fonction de mémoire externe et être partagée entre les membres du groupe : un effet « anti-Sisyphe » qui sera aussi développé plus loin.

Plutôt que comme un but pour les étudiants, les productions sont donc d'abord utilisées comme des artefacts conceptuels permettant l'écriture pour i) construire les idées (savoirs communs) et ii) faciliter la discussion de ces idées pour améliorer les savoirs et développer les connaissances individuelles, et iii) permettre le développement individuel de connaissances lors des préparations d'examen. Ces productions ne sont donc qu'un étayage de l'apprentissage et non un objet à présenter fièrement à un public, se distinguant en cela des modèles de pédagogie par projet.

La littérature, p. ex. (Papert, 1971) met en évidence l'importance d'une production tangible – texte, dessins, calculs – par les élèves, pour favoriser la production de connaissances. Notre contribution au débat (F. Lombard, 2008) est le modèle « Matrioshka » décrit plus haut : il montre que les questions ne peuvent exister qu'incarnées dans une production qui fait du sens pour l'élève. Cela fonde l'élément de design ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe.

Etudions d'abord ce qui justifie cette production : la construction d'une explication scientifique du monde. Au cœur de l'investigation scientifique il y a forcément une question de recherche *"Inquiry, especially in basic science, characteristically starts with a question which arises from the discrepancy between theoretical expectations and observational or experimental results."* (McNeill, et al., 2006 p. 29.). Cette question de recherche générale n'est pas toujours exploitable directement avec les instruments scientifiques dont on dispose, cette impossibilité doit être contournée par des questions plus précises qui peuvent trouver une réponse et conduisent à une réponse – au moins partielle à la question de recherche – ou à la reformuler.

> *The initial questions, those that involve large theory claims, characteristically are not in the form to which Nature can respond. What the inquirer tries to do is find an indirect way of constructing an answer by formulating a series of small questions, and by attempting to derive an answer to the initial question from these. The Inquirer, then, attempts to find – or rather, construe – an answer to the initial big question by forcing Nature to yield unambiguous answers to her or his small questions, answers which the Inquirer then can draw upon in the interrogative derivation of the chosen conclusion.* (Hakkarainen & Sintonen, 2002 p.28)

L'investigation est donc aussi construite à partir d'une question. En effet, les questions qu'ont réellement les apprenants – nous avons vu que cela signifie les avoir comprises et se les être appropriées – motivent la recherche des apprenants. Nous défendons l'idée – en nous inspirant de (Myers, 1998) – que la motivation doit être vue comme un vecteur. La motivation est ce qui incite à l'action mais surtout ce qui en détermine la direction : c'est un vecteur qui a une norme (l'intensité de la motivation) et une direction (ce vers quoi la motivation est dirigée). Les questions sont donc ce qui oriente l'investigation. Elles sont par conséquent l'outil principal par lequel s'effectue le pilotage pour l'enseignant.

Nous faisons donc la conjecture que faire – progressivement et par la négociation – apparaître les bonnes questions (ce qui permettra après de veiller à ce que des réponses y soient trouvées, à ce que leur solidité soit éprouvée) est une des responsabilités cruciales de l'enseignant dans l'investigation. Cela fonde en partie l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs (la négociation sera discutée plus loin).

Nous avons mentionné plus haut combien les *bonnes questions* sont une inquiétude des enseignants. Nous verrons que le guidage par l'interaction des questions et des ressources peut effectivement assurer que les élèves atteignent les objectifs d'apprentissage déterminés (CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions).

*Développer l'investigation chez les élèves nécessite une certaine durée ?*

Certaine recommandations officielles concernant l'implémentation de l'investigation proposent que des phases d'investigation soient mises en place occasionnellement, que cette approche soit employée de manière ponctuelle ou partielle, puisqu'un inspecteur d'académie nuançait de cette manière les directives françaises définissant :

> Les sept étapes d'une démarche d'investigation :
>
> 1) Le choix d'une situation-problème par le professeur.
>
> 2) L'appropriation du problème par les élèves.
>
> 3) La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles.
>
> 4) L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves.
>
> 5) L'échange argumenté autour des propositions élaborées.
>
> 6) L'acquisition et la structuration des connaissances.
>
> 7) L'opérationnalisation des connaissances. (B.O.E.N, 2005)

L'analyse des premières implémentations de notre recherche a suggéré l'importance d'une construction dans la durée de ce contrat didactique radicalement différent ; un examen de la littérature suggère que ce point pourrait être important.

> *Although some research projects are able to provide convincing evidence of inquiry reasoning […], many projects cannot demonstrate such evidence, no doubt in part because the duration of intervention and study is often only a few weeks rather than several months or years.* (Songer, 2006 p. 357)

Cette auteure affirme qu'il n'y a pas encore de consensus clair sur ce point :

> *As a result, much of the current research falls short of providing a complete view of the best means to support a progression of conceptual ideas as they develop over many weeks, months, or years.* (Songer, 2006 p. 358)

Elle poursuit en suggérant que ses résultats favorables peuvent être dus à des interventions sur une année complète. Nous verrons dans la section des résultats notre contribution à cette question mais exprimons ici la conjecture que les effets de l'investigation pourraient n'apparaître que dans la durée et qu'il faut par conséquent concevoir des dispositifs de longue haleine si l'on souhaite mesurer d'éventuels effets à long terme résultant, par exemple, de l'appropriation d'un contrat didactique, de changement progressif des représentations et de leur cadre épistémique, ou de l'appropriation progressive de techniques et de stratégies. Nous faisons donc la conjecture que pour juger de l'efficacité d'une intervention ou de certaines des caractéristiques qui la définissent, il faut prévoir des interventions de plusieurs mois. Cela contribue à fonder l'élément de design ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré.

Bien qu'il faille naturellement dire clairement les consignes, nous pensons et avons pu observer que c'est principalement les actions suivies d'effets sensibles pour les élèves qui induisent les changements chez les élèves. D'inspiration minimaliste (Carrol, 1998), cet élément de design postule que les changements d'attitude des élèves résultent des situations que l'enseignant met en place plus que de ses propos et surtout, lorsqu'il y a discordance, ce sont les effets prévisibles

de leurs actions qui sont déterminantes. (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves).

### 4.3.12 **L'argumentation : la science est débat**

Nous avons vu dans le chapitre deux sur la connaissance scientifique que la science est une forme de débat. Un dispositif qui a l'ambition de conduire les élèves à faire de la science doit donc prévoir des confrontations d'idées dans des débats scientifiques. Les écritures partagées peuvent aussi constituer un support pour débattre et confronter les idées dans le processus d'investigation pour construire les connaissances scientifiques (Britton, 1972; Keys, 1999).

Sur la manière de prévoir dans le dispositif les confrontations, de nombreuses recherches montrent que ces confrontations développent les connaissances si elles sont *de compétence* plutôt que *de maîtrise,* c'est-à-dire si elles visent le développement de la connaissance plutôt que l'établissement de rapports de force ou d'affection entre les individus. Effectivement, une structure coopérative et des buts de maîtrise favorisent l'élaboration constructive des conflits (Buchs, et al., 2008).

L'investigation implique des débats d'idées et ces débats peuvent prendre des formes écrites ou orales.

> *Argument and debate are common in science, yet they are virtually absent from science education. Recent research shows, however, that opportunities for students to engage in collaborative discourse and argumentation offer a means of enhancing student conceptual understanding and students' skills and capabilities with scientific reasoning. ... This paper presents a summary of the main features of this body of research and discusses its implications for the teaching and learning of science.* (Osborne, 2010 p. 463)

Nous faisons donc la conjecture que les dispositifs doivent prévoir des opportunités de débats centrés sur la discussion des liens logiques entre les affirmations et les données, en référence au cadre qui a permis leur production. Cela fonde partiellement la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage.

La co-écriture dans un espace d'écriture partagé peut supporter ce type de débats (Hounsell & McCune, 2002) si elle est organisée de manière à favoriser ce débat Cf. par exemple (Scardamalia & Bereiter, 1996) mais nous y reviendrons dans la section sur les supports technologiques pour la construction de connaissances. Il faut aussi prévoir des opportunités de présenter oralement ses idées, le cycle IBL l'explicite dans la phase « discuss » et les premières implémentations du dispositif ont montré l'importance d'une présentation très tôt dans le processus.

Des formes de présentation de l'état actuel de leur compréhension peuvent avoir plusieurs effets : i) partager leurs connaissances pour mutualiser l'apprentissage (Meirieu, 1989), ii) prendre conscience de la qualité de leurs propres apprentissages, iii) confronter leurs idées à celles des autres, iv) délimiter les questions que chacun poursuit v) mieux situer les questions de chaque groupe dans l'ensemble de l'investigation. Cela fonde ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel, et ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel.

Contrairement à des croyances tenaces chez les enseignants et les élèves, une structure de type coopératif (Abrami et al., 1996) améliore les résultats de *tous* les élèves (Crahay, 2005 p. 377) notamment si elles réunissent les conditions de responsabilité individuelle (RI) et

d'interdépendance positive (IP) (Buchs, Gilles, & Butera, 2012; Johnson & Johnson, 1989). La relative rareté du travail de groupe au secondaire II et la méfiance des élèves peuvent être attribués à une organisation du travail où ces conditions (IP + RI) ne sont pas vraiment remplies. Si l'IP est souvent instaurée en instituant une note commune au groupe, un développement insuffisant de la responsabilité individuelle mène souvent à une dynamique de groupe qui résulte en un investissement très inégal des élèves : certains élèves aux attentes élevées font tout le travail craignant que les autres ne le fassent pas assez bien et les autres se laissent aller parce qu'ils sentent que d'autres ont des exigences plus élevées pour leurs notes un effet appelé *free-rider effect* (Kerr & Bruun, 1983) : la perception que leur contribution n'est pas indispensable au succès du groupe « *perceived dispensability of their efforts for group success* ».

Il est remarquable de constater que le glissement vers ces trop classiques rôles complémentaires – souvent appelés *lone star*et *free-rider*– résulte fréquemment d'une dynamique de groupe : si un élève aux exigences normales voit son travail ignoré par un *lone star*, il laisse tomber et devient un *free-rider*, ce qui renforce la personne qui joue le rôle de *lone star* dans la perception que les autres ne font jamais leur travail et que « travail de groupe » veut juste dire qu'ils devront tout faire pour d'autres qui bénéficieront de leur bonne note. On voit que sans la RI, le travail de groupe ne peut pas être réellement coopératif.

Nous conjecturons que le dispositif doit manifester ces deux caractéristiques : la qualité des productions doit être directement profitable à tous et chacun doit se sentir responsable de sa contribution à l'ensemble. Cela implique par exemple que la production de chacun soit visible et identifiable par les autres : si un texte qui ne convient pas doit être récrit par son auteur (renforçant la responsabilité individuelle), et s'il y a écriture fréquente (et donc répétition des effets désagréables d'un travail à refaire), progressivement la coopération dans une production utile à tous peut se construire dans l'interdépendance positive. Il en est de même pour la satisfaction partagée de « la saveur des savoirs » produits et matérialisés dans réalisation concrète (brochure pour préparer les examens par exemple).

Introduire dans le dispositif des caractéristiques pour guider le débat scientifique s'est avéré complexe et nous avons cherché à identifier les conditions pour qu'une vraie argumentation puisse avoir lieu. Nous présentons quelques recherches qui ont nourri cette réflexion et les dernières implémentations du dispositif. Elles fondent l'élément de design ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives. Ces caractéristiques articulent la co-écriture des synthèses de l'investigation, la présentation aux pairs et la validation par référence à des ressources authentiques produisant en commun des savoirs destinés à préparer les examens.

Chaque chercheur sait combien la présentation de ses réflexions en cours – lors du séminaire d'équipe par exemple – est extrêmement profitable à celui qui présente et plusieurs modèles pédagogiques comme la controverse constructive (Johnson & Johnson, 1989) montrent le potentiel qu'a la présentation de ses idées pour les élaborer. Pourtant, il n'est pas dans les habitudes scolaires de présenter devant la classe des idées inabouties. En général, dans l'enseignement de la biologie, la présentation s'inscrit comme évaluation certificative et diffusion d'un projet terminé. En rupture très claire avec ce contrat didactique traditionnel, l'IBL met en place dès le début – quand les idées sont encore peu claires mais aussi moins certaines et qu'elles peuvent le plus facilement être remises en question – des phases de présentation au groupe-classe et de confrontation. Elles sont explicitement destinées à i) mutualiser les connaissances ii) aider à prendre conscience de la solidité des connaissances du groupe d'investigation qui présente iii) redéfinir les questions.

Nous faisons donc la conjecture que le dispositif doit prévoir des opportunités de confronter les idées assez tôt dans leur élaboration afin de favoriser la construction de connaissances étayées

logiquement par l'argumentation (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel et ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel).

Nous faisons aussi la conjecture qu'un dispositif centré sur une construction commune et interdépendante de connaissances dans lequel chacun est responsable soutient le changement conceptuel et le développement de connaissances scientifiques (ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives).

### 4.3.13 **La métacognition incontournable**

Pour de nombreux chercheurs, un travail métacognitif explicite est nécessaire pour approfondir la compréhension conceptuelle et épistémologique (dans le sens de l'« épaisseur » des connaissances) : elles dépendent en particulier des croyances des apprenants sur l'apprentissage et la connaissance "*beliefs about knowledge and learning, or "epistemological beliefs*" (Hammer & Elby, 2003). Un travail explicite de ces aspects, sur la base des productions des apprenants, peut conduire à un approfondissement conceptuel et épistémologique des apprenants (Sandoval, 2003b).

Nous faisons donc la conjecture qu'il faut prévoir, dans le dispositif, des activités ou des moments pour que l'élève prenne conscience de ce qu'il a appris et des changements de ses conceptions sur le contenu et sur les méthodes d'apprentissage.

L'investigation vise l'autonomie de l'élève, d'abord pour des raisons pédagogiques parce qu'elle est nécessaire – mais non suffisante – pour que l'élève se sente responsable de ses apprentissages, ensuite parce que la connaissance scientifique l'exige : pour qu'un élève puisse lui-même décider de la validité d'une information, il doit avoir une certaine autonomie.

Nous faisons donc la conjecture que les dispositifs d'investigation devront accorder à l'élève une autonomie sur la validation, sur la réalisation tout en le guidant clairement sur les objectifs et les caractéristiques définissant les productions. Cette tension est cruciale et nécessite une très grande clarté dans les rôles (Kobbe, 2005) de l'enseignant, des élèves et des ressources et productions.

Nous avons vu dans le chapitre deux sur la connaissance scientifique avec (Bromme, et al., 2008) que la référence aux sources est une des dimensions qui donne de l'épaisseur à la connaissance scientifique. Pour permettre le rapport critique à la vérité, les élèves doivent connaître les sources et apprendre à les juger, à déterminer leur pertinence. Or la citation des sources est une pratique très rare dans l'enseignement.

Nous avons eu l'occasion d'interroger une assemblée de plusieurs centaines d'élèves du secondaire II et nous leur avons demandé si ils savaient de qui venaient la plupart des idées qui leur ont été présentées dans leur cursus. La très large majorité a répondu que non. Il est donc probable que les élèves n'aient pas l'habitude de juger de la validité des savoirs présentés par leurs enseignants, qu'ils sont acceptés sur la base de leur autorité et donc que discuter la validité des idées en fonction de leur auteur – en sciences en tous cas – n'est pas une compétence très développée chez les élèves.

Les attentes sur la pratique de la citation par les élèves – une stratégie connue pour les sensibiliser à la source des textes (Bartlett-Bragg, 2003; Karsenti & Dumouchel, 2010; Le Deuff, 2009; Rowlands & Nicholas, 2008) – doivent donc être modérées et des progrès sur ce point nécessiteraient probablement une focalisation importante des incitations et des exigences qui serait au détriment d'autres aspects du dispositif, car l'effort que l'on peut attendre des élèves est limité.

Il est intéressant de noter que la référence à l'auteur d'un texte pour en juger de la validité n'est pas limité aux textes publiés et peut s'appliquer aussi aux textes produits par les élèves : les élèves accorderont une confiance plus grande à un texte dont l'auteur leur paraît plus compétent (Dillenbourg & Schneider, 1995; Rouet, 2006).

La pratique de textes de qualité très variée aussi bien dans les ressources utilisées pour l'investigation que dans les textes utilisés pour préparer les examens semble développer une compétence cruciale pour la connaissance scientifique, et l'intelligence informationnelle : prendre en compte l'auteur pour juger la validité d'une information. Pour certains (Rouet, 2006) prendre en compte les indices sémantiques profonds comme l'auteur plutôt que les indices de surface comme le libellé des titres différencie justement experts et néophytes. Cette forme d'expertise est une compétence que l'école développe très peu habituellement. Elle s'inscrit dans une visée plus large de rendre les élèves autonomes pour la validation de leurs connaissances. Cela fonde partiellement l'élément de design (ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène) qui résulte d'ailleurs de l'usage d'internet.

Nous faisons donc la conjecture qu'il est importance d'exposer les élèves à une culture de citation et la conscience de l'auteur pour développer l'épaisseur métacognitive des connaissances. Nous conjecturons qu'une pratique de la production de textes et de recherche de documents qui mettent les élèves en position d'auteur et de relecteur des textes de pairs pourrait développer une conscience qu'un texte est forcément écrit par un auteur. Cela fonde l'élément de design ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte.

Nous retenons aussi que des moments de discussion et des activités visibilisant les connaissances et stratégies acquises devraient aider à prendre conscience de ces compétences métacognitives et à les institutionnaliser. Cependant nous avons choisi – notamment pour rassurer sur l'efficacité du dispositif dans un premier temps, de ne déployer ces moments qu'une fois les effets d'apprentissage constatés par les élèves, fondant l'élément de design ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages.

### 4.3.14 **Notre définition de l'IBL**

L'investigation, notamment l'IBL, est un modèle d'enseignement qui paraît particulièrement adapté pour son efficacité dans le développement de connaissances scientifiques et pour sa pertinence à l'enseignement de la biologie.

L'apprentissage par investigation est souvent décrit comme une spirale, des itérations d'un cycle, qui commence par la formulation d'une question, puis une investigation conduisant à une production partagée.

Nous retenons la nature cyclique du processus (cf. Figure 10) comme une caractéristique importante pour construire des connaissances scientifiques, la construction des questions à partir de l'interaction avec un environnement le plus authentique possible, le centrage sur un nombre restreint de concepts structurants vers lesquels converge l'investigation par l'effet centripète et la négociation des questions. Nous considérons particulièrement opportune la formalisation "Inquiry Based Learning"(IBL Workshop Collective, 2001).

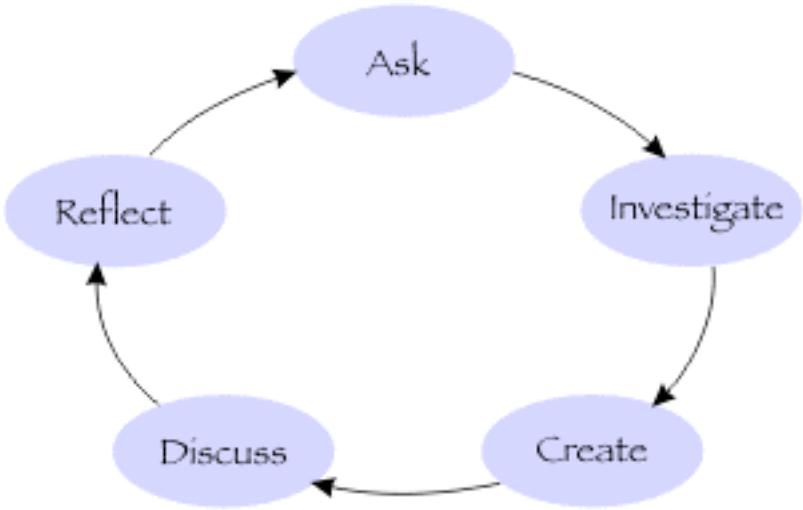



Figure 10 Schéma de l'IBL l'Inquiry Page montrant bien la nature itérative du processus d'investigation. http://www.cii.illinois.edu/InquiryPage/

Nous faisons donc la conjecture que plus d'un cycle est nécessaire pour construire des questions, mener l'investigation, argumenter et élaborer des connaissances qui permettent de mieux définir les questions pour l'itération suivante. D'après notre expérience, deux cycles semblent un minimum. Cela se traduit notamment par les éléments de design suivants : ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe, ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs).

Cette description (cf. Figure 10) met également en évidence le rôle de la confrontation des idées « discuss ». Ainsi la confrontation des idées est justifiée par des considérations pédagogiques et parce que le processus de validation scientifique le nécessite. Cela fonde notamment les éléments de design (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel, ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes).

Des phases de confrontation du modèle en cours de construction par l'élève à plusieurs situations (les allers-retours entre le modèle et le référent (Martinand, 1996) sont une des caractéristiques de la science et sur le plan pédagogique, les phases de décontextualisation et recontextualisation ont vertu d'institutionnalisation au sens défini par Astolfi « ré-evoquer les activités antérieures, à les mettre en relation et à construire avec la classe des invariants plus larges. [… pour permettre] une synthèse à partir d'un ensemble de situations de référence afin de dégager des relations à caractère plus général, c'est-à-dire un savoir » (Astolfi, 2008 p. 162). Cela fonde la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage.

Une autre caractéristique de l'investigation est que l'autonomie de l'élève est visée : on la trouve exprimée dans un souci de lui laisser l'initiative, de travailler des questions ouvertes, de dévoluer les processus de production.

> L'enseignant anime, relance, conseille, et présente certaines exigences. A d'autres moments il observe en laissant les élèves autonomes. Il oriente l'activité tâtonnante, surtout de manière indirecte, par des suggestions ou des apports, qui modifient l'activité, facilitent les échanges entre groupes, reformule ce qui est dit et fait. Il provoque des

> moments d'explication, de vérification, de confrontation, de communication (moments structurants). (Astolfi & Develay, 2002 p. 11)

Sur le plan pédagogique, cette autonomie traduit une des caractéristiques de l'élaboration de connaissances scientifiques : nous avons vu que le processus de validation des savoirs est ce qui construit l'épaisseur des connaissances, il revient donc à l'élève, fondant ainsi l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves.

*IBL pour la connaissance scientifique :*

Les caractéristiques de l'IBL qui justifient ce modèle comme point de départ pour le développement de connaissances scientifiques s'articulent autour d'un isomorphisme avec la démarche scientifique. Nous avons défini la connaissance scientifique par une épaisseur métacognitive, une justification des affirmations tissée par les liens depuis les données, les hypothèses qui les fondent, le cadre dans lequel elles s'inscrivent et une discussion critique de ces liens.

Nous avons cherché dans cette recherche à développer l'authenticité de cette démarche de validation. Nous avons donc tenté de construire avec les élèves une communauté apprenante produisant, à partir de ressources surabondantes, des savoirs discutés en commun conduisant à des connaissances individuelles. Nous avons retenu la nécessité d'environnements tolérants de l'erreur mais orientés vers le progrès des savoirs produits en commun comme moyen de construire les connaissances individuelles. Nous pensons que les connaissances individuelles sont développées à la fois dans ce processus coopératif de recherche - sélection – validation - synthèse - présentation – discussion qui produit ce document commun et dans l'apprentissage *individuel* (avant les examens) à partir du document commun.

Nous avons vu que ce progrès doit être focalisé et dynamisé par des questions que les élèves se sont construites et appropriées et que le dispositif doit structurer, organiser et définir les critères de qualité de l'investigation tout en laissant la responsabilité de valider et de construire aux élèves. Nous avons vu que cela implique de distinguer une autorité éducative fermement assumée par l'enseignant d'une autorité scientifique, *de savoir,* qui doit être trouvée dans les documents et les activités. Cela implique et permet la pratique de la validation progressivement autonome des connaissances par l'élève avec un étayage qui s'efface progressivement. Nous avons vu que la validation implique que les élèves soient confrontés à des documents de qualité très variable. Nous avons vu qu'une production commune et qui fasse du sens pour les élèves est nécessaire pour supporter la construction itérative de la pensée dans une espace d'écriture partagé qui constitue une mémoire, un lieu d'élaboration de la pensée et de confrontation des idées en construction. Nous avons relevé la nécessité de confrontations écrites et orales dès que la pensée est un peu construite. (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel)

Le modèle pédagogique IBL prévoit des itérations des phases de questionnement, de recherche, d'argumentation et d'élaboration des connaissances, qui mènent à une redéfinition des questions.

Les phases de questionnement progressif, la rediscussion régulière des questions, la focalisation sur une production qui fasse du sens comme but des élèves et les discussions que cette production peut supporter font de l'IBL un modèle qui a pu décrire d'abord les dispositifs initiaux et guider la réflexion et l'amélioration des versions successives du dispositif au cours des années. La nécessité d'un outil cognitif pour permettre l'écriture partagée et supporter les confrontations est mentionnée de manière implicite, et parfois explicite dans le modèle IBL tel que de nombreux auteurs le décrivent (Bereiter, 2002; Hakkarainen & Sintonen, 2002; Sandoval, 2004; Scardamalia, Bereiter, McLean, Swallow, & Woodruff, 1989).

Le dispositif qui incarne cette conceptualisation de l'IBL et qui a été testé durant plusieurs années est décrit dans la section 6.1 Résultats Q1A : Description du dispositif (p. 177).

Les confrontations socio-cognitives recherchées dans l'articulation entre les productions écrites et leur présentation pour la confrontation et la discussion sont déterminantes et nous y reviendrons. Le format intergroupe (Meirieu, 1989) et la controverse constructive (Johnson & Johnson, 1989) sont des solutions qui ont été écartées parce qu'elles semblaient prendre plus de temps et que la complexité du dispositif atteignait des limites pour les élèves et l'enseignant. Elles méritent cependant plus d'attention dans les perspectives de ce projet.

## 4.4 Les modèles pédagogiques pour la construction de connaissances supportés par les technologies

Nous allons, dans cette section, faire une brève revue de ce que la littérature suggère et exprimer notre position à propos de l'étayage technologique de l'apprentissage des sciences, notamment des outils cognitifs. Nous écarterons d'emblée un prosélytisme technologique que les constructeurs de matériel informatique ont largement suscité, nous ne traiterons pas tous les apports à l'enseignement, à l'apprentissage des sciences et un peu seulement la mise en perspective des technologies auxquelles la technologie a recours (Flick & Bell, 2000) pour nous intéresser spécialement aux usages des technologies pour la construction de connaissances scientifiques.

Les technologies sont une opportunité de remettre en question certains atavismes de l'école.

> Or, à notre avis, avec les TIC, c'est vraiment la première fois depuis près de quatre siècles que l'hégémonie de la classe, comme structure socio-physique du travail pédagogique, est sérieusement menacée, alors qu'elle peut s'ouvrir et se défaire au profit de nouveaux modes d'éducation et d'instruction fondés sur des nouvelles formes d'interactions entre les enseignants et les élèves. Une classe est un dispositif de contrôle à la fois temporel et spatial qui enserre l'enseignant et les élèves dans un lieu et un temps proprement scolaires. (Tardif & Mukamurera, 1999 p. 9)

La classe comme espace fermé – sur le plan des savoirs notamment – est au minimum bousculé par la société de l'information ; nous avons vu que les élèves sont bombardés d'informations biologiques et il faut reconnaître qu'internet pénètre dans les classes avec les ordinateurs scolaires, mais aussi de plus en plus fréquemment avec les smartphones, les tablettes, etc.

C'est une modification – qui pourrait être profonde – des savoirs disponibles en classe et en somme une modification du *milieu* dans lequel l'élève apprend.

Nous avons déjà posé le problème de la construction de connaissances en environnement infodense et mis en évidence en particulier la nécessité de développer des compétences que traditionnellement l'école développe peu : « choisir des informations de sources diverses et de les intégrer en un ensemble cohérent et utile pour son travail ou sa vie en société. » (Paquette, 2002b p. 13-14). L'enjeu n'est pas seulement de sélectionner, mais surtout d'apprendre à produire des connaissances valables qui soient socialement reconnues.

Dans ce contexte, la construction de connaissances scientifiques met en jeu au moins deux compétences d'intelligence informationnelle : savoir *trouver* dans la surabondance d'information (nous avons vu que trouver est un processus nécessitant un ensemble de compétences complexes Cf. section 3.1.3 (p. 35)) et savoir valider de manière « métacognitivement épaisse » pour produire de la connaissance scientifique. Nous pensons (F. Lombard, 2008) que la validation scientifique doit être une manière d'aborder les deux problèmes pour donner des réponses scientifiques aux problématiques de société et citoyennes. En effet, valider de manière scientifique détermine des stratégies de sélection en fonction des sources et de la qualité des arguments reliant les données aux conclusions, ce qui permet de trier et de sélectionner les

documents et peut guider la conception de stratégies qui conduisent l'élève à organiser ces informations en des ensembles validés de connaissances scientifiquement fondées qui sont une contribution essentielle à une responsabilité citoyenne.

Nous pensons que les outils qui ont créé le problème de l'infobésité peuvent être utilisés pour développer l'intelligence informationnelle permettant de le résoudre. Les technologies de l'information créent une surabondance d'information, elles devraient pouvoir être utilisées en éducation pour traiter cette surabondance, justement parce qu'elles sont des outils de traitement de l'information.

### 4.4.1 **Les technologies pour modifier le milieu de l'élève**

Dans la perspective plutôt socio-constructiviste où nous sommes, la question de la construction de connaissances se pose en termes de nature des interactions entre les individus avec le système de connaissance de l'apprenant par des perturbations du milieu lors des interactions internes, avec des ressources et le groupe.

> *If one accepts Vygotsky's (1930/1978) principle that distinctively human cognitive skills are developed in groups (socially, inter-subjectively) first and only subsequently on that basis internalized into mental (individual, inner-subjective) abilities, then one can pose the fundamental CSCL question: How can technology be used to facilitate this intersubjective-to-individual process of collaborative learning? As we have discovered in past CSCL research, this is a complex problem. One must create and coordinate: (1) a group knowledge-building space, (2) a set of individuals engaged as a group and (3) channels of interaction between the social and personal systems.* (Stahl, 2008 p. 1)

Les usages des technologies que nous avons explorés mettent en évidence plusieurs aspects de modification du milieu : i) au-delà des possibilités de diffusion et de présentation accrues que les technologies permettent et qui sont parfois un changement important de la médiation qui n'est pas anodin nous l'avons vu plus haut, nous relevons ii) la création de nouveaux espaces de confrontation des modèles aux données (notamment aux bases de données biologiques), de simulation iii) de nouveaux espaces d'écriture individuelle, iv) la réification des interactions dans des espaces partagés de co-écriture (wiki, blogs, etc. ), v) la création d'espaces nouveaux pour l'argumentation et le débat scientifique comme CSILE et Knowledge Forum® (Scardamalia, 2004).

### 4.4.2 **Rôle de l'artefact conceptuel**

Bereiter affirme que la discussion d'un artefact conceptuel est un puissant outil cognitif :

> *The alternative approach that I develop centers around the idea of conceptual artifacts, which are human constructions like other artifacts, except they are immaterial and, instead of serving purposes such as cutting, lifting, and inscribing, they serve purposes such as explaining and predicting. These conceptual artifacts, in turn, become part of the vast array of things we can become knowledgeable about.* (Bereiter, 2002 p. 58)

Avec Bereiter, nous pensons très fécond de voir l'artefact conceptuel comme un *objet de pensée* qui est matérialisé dans un artefact technologique (tel qu'un wiki) dans lequel les représentations des uns et des autres peuvent être formulées, confrontées et contribuer ainsi à les améliorer. Ainsi l'élaboration commune par les élèves et l'enseignant d'une explication des mécanismes immunitaires de l'allergie est un artefact conceptuel (« comment ça marche l'allergie ») qui est supporté par l'écriture dans un wiki par exemple – l'artefact technologique.

Chacun se représente les mécanismes de l'allergie de manière différente, progressivement plus élaborée au cours de l'investigation et cette élaboration dans l'écriture de l'artefact conceptuel « comment ça marche l'allergie » permet la confrontation des représentations à divers moments. Ces confrontations et écritures aident chacun dans le processus de modélisation, de construction

d'un modèle du système vivant étudié. C'est donc la production commune et les interactions communes qui permettent la construction individuelle de connaissances scientifiques.

Cette conceptualisation des interactions dans l'investigation articule bien les deux visions de la science comme un processus de modélisation et comme argumentation des limites et de la justification de ces modèles.

Les modèles sont un objet de discussion autour desquels se construit la connaissance, ce qui leur donne automatiquement les trois caractéristiques (hypothétiques, modifiables, pertinence limitée) que Martinand (1996) a mises en évidence.

De plus, comme les modèles scientifiques sont intrinsèquement améliorables, leur exploration est très compatible avec une pédagogie de l'amélioration de la connaissance (Bereiter, 2002) que nous avons explorée plus haut.

### 4.4.3 **Le tétraèdre des Technologies**

Les technologies ne créent pas seulement de nouvelles interactions autour du savoir, elles modifient les interactions existantes qu'on analyse souvent avec le classique triangle didactique (Houssaye, 1988). Les trois pôles y sont le savoir, l'élève et l'enseignant et les interactions le long des arêtes déterminent l'apprentissage.

Nous avons décrit un modèle heuristique pour aborder l'intégration des technologies qui développe en trois dimensions ce triangle didactique. Tout artefact technologique peut être vu comme une médiation puisqu'il a été créé par d'autres individus et a forcément des implications pédagogiques et didactiques lorsqu'il est utilisé en classe – même si les auteurs n'en avaient pas conscience. Il en résulte un quatrième pôle, la médiation technologique formant un tétraèdre. En effet, la discussion des interactions le long des arêtes et dans les 4 triangles du tétraèdre s'est avérée efficace pour l'analyse et la conception de dispositifs technopédagogiques (F. Lombard, 2007).

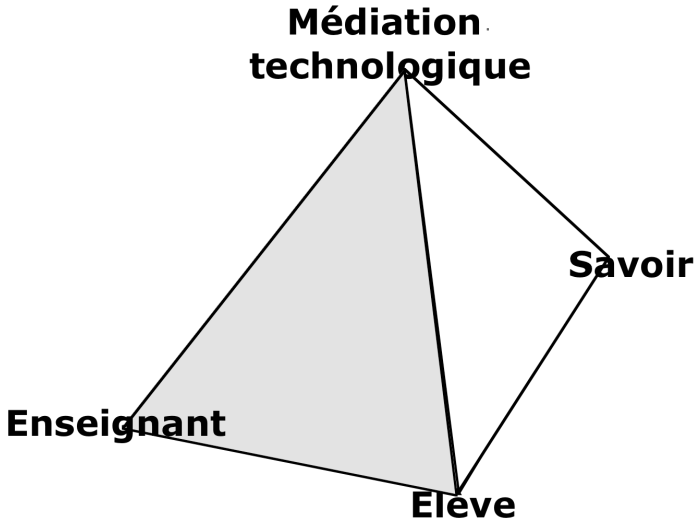



Figure 11 : Le tétraèdre des Technologies permet d'analyser les interactions entre les acteurs de la relation pédagogique : maître – élève - savoir et médiation technologique.

Nous faisons donc la conjecture que les interactions des élèves avec les savoirs peuvent être médiées par les technologies et que cela modifie les interactions déjà complexes dans le triangle didactique (Houssaye, 1988) enseignant – savoirs – élèves pour créer de nouvelles opportunités, mais aussi de nouvelles difficultés.

Pour donner un exemple, l'accès à des ressources de très haute qualité et impossibles à connaître intégralement peut déséquilibrer des modèles pédagogiques où les savoirs sont prescrits et l'enseignant pouvait maîtriser tous les savoirs disponibles. Dans la problématique de construction des connaissances scientifiques qui nous intéresse, les effets sur l'autorité scientifique de l'enseignant dépendront de la manière dont cette autorité s'articule avec l'autorité pédagogique dans le dispositif.

Pour ce qui est de la problématique de transposition de la bioinformatique, nous avions proposé (F. Lombard & Blatter, 2009) que les technologies offrent aussi de nouvelles opportunités d'accès à des données plus authentiques et offrent des opportunités de confrontation cognitives qui rendent accessibles aux élèves des processus de construction de connaissances plus authentiques et similaires à ceux des chercheurs.

### 4.4.4 **Des technologies pour l'enseignement des sciences ?**

Les usages des technologies dans l'éducation tertiaire sont souvent limités à la diffusion de savoirs prescrits par les enseignants aux étudiants (Niederer, Greiwe, Pakoci, & Aegerter, 2002). Les usages des technologies dans l'enseignement des sciences ont été analysés par de nombreux auteurs, dans des cadres théoriques et des méthodologies très différents (Baron, Bruillard, & Lévy, 2000; Boethel & Dimock, 1999; de Jong, 2006; Denis, 2002; Flick & Bell, 2000; Hixon & Buckenmeyer, 2009; Hofstein & Lunetta, 2004; Huber, Songer, & Lee, 2003; Jonassen, Peck, & Wilson, 1999; Lawson & Comber, 2000; Moore, 2008; Niederer, et al., 2002; Sawyer, 2006; Scardamalia & Bereiter, 1993; Songer, Lee, & Kam, 2002; Strijbos, Kirschner, Martens, & Dillenbourg, 2004; Vialle, 1999; Wooley & Lin, 2005). Nous nous intéresserons surtout aux possibilités que les technologies offrent pour créer de nouvelles interactions entre l'élève et les savoirs.

La recherche révèle de très nombreuses taxonomies pour les usages des technologies (Bibeau, 2005; de Vries, 2001) et même une typologie des typologies (Basque & Lundgren-Cayrol, 2002). Nous pensons que ce foisonnement est le reflet d'une diversité des conceptualisations des usages des technologies dans l'éducation.

Nous pensons que ce sont les usages qui importent et avons considéré des classes d'activités (Gauthier, 2004) : A1= Communiquer, échanger des informations, A2= Rechercher et traiter de l'information, A3= Créer des contenus/formalisation, A4= Organiser les activités, A5= Evaluer, A6= Présenter des contenus, A7= Expérimenter ou appliquer. Cependant cette typologie définit l'usage à partir de l'artefact. Elle définit ce qu'on fait avec l'artefact, alors que nous avons défendu une position didactique avec le tétraèdre des Technologies : ce sont les interactions des concepts de l'élève avec un milieu enrichi par l'artefact qui conduisent – ou non – à des apprentissages. Nous poursuivrons donc un peu sans référence à une typologie.

Un premier niveau d'usage des technologies qu'est la simple diffusion de contenus permet des usages qui sont pertinents à notre réflexion ici. Notamment en facilitant l'accès à des ressources d'authenticité accrue : l'éducation a accès facilement aux bases de données qui fondent la biologie actuelle BIST discutée plus haut et dans (F. Lombard & Blatter, 2009). D'autre part, des ressources bibliographiques de qualité académique et plus authentiques sont accessibles en classe et au domicile des élèves : (B Alberts, et al., 2002; Janeway, et al., 2001; Purves, et al., 2001). Enfin la digitalisation des ressources et les technologies de communication (mail, wiki, etc.) facilitent le feed-back et l'évaluation formative par la confrontation à d'autres informations compatibles avec une posture de tuteur.

Nous nous limiterons ici à explorer brièvement comment les technologies éducatives pourraient étayer les compétences d'intelligence informationnelle. Deux exemples bien documentés sont KnowledgeForum© (Scardamalia, 2004) et BGuile (Tabak et al., 1995) qui étayent la construction de connaissance par un artefact technologique spécialement organisé pour expliciter

les relations entre les concepts et susciter des confrontations sociocognitives. Sans être une vraie typologie, une revue des usages éducatifs possibles d'un support technologique (Boethel & Dimock, 1999) recense huit usages des technologies dans la perspective d'aider l'élève à apprendre : aider à identifier les conceptions des élèves, à susciter la motivation, à baser l'enseignement sur des problèmes, à fournir un éventail de situations et expériences et de négociations du sens, à accroître la complexité traitée, à adopter un rôle de tuteur, à tester des scénarios multiples et susciter des conflits socio-cognitifs, à rendre le contenu plus authentique, à élargir le cercle des interactions sociales à des pairs ou des experts hors de la classe et même hors du pays.

> *We have seen that when technology is used as a tool for learning, rather than the object of instruction or as the instructor, it can assist teachers as they strive to:*
>
> *- Uncover students' prior knowledge, understanding and beliefs;*
>
> *- Tap into student interests and provide increased motivation for learning;*
>
> *- Base instruction on the posing of problems;*
>
> *- Provide a variety of experiences, experimentation, and negotiation of meaning;*
>
> *- Increase the complexity of the content;*
>
> *- Take on the role of facilitator;*
>
> *- Increase the ability of students to test multiple scenarios and thus challenge preconceived notions or misconceptions;*
>
> *- Increase the authenticity of the content and context; and,*
>
> *- Broaden the circle of social interaction to include students' peers and experts beyond the classroom, the school, the community and even their home country.* (Boethel & Dimock, 1999 p. 26)

Nous retenons que les dispositifs pourraient favoriser les apprentissages en intégrant des artefacts technologiques permettant de créer des milieux qui i) favorisent la négociation du sens, ii) confrontent les élèves à des ressources plus authentiques, plus complexes, et iii) soutiennent l'investigation. Nous avons discuté plus haut comment un dispositif organisant des interactions dans un artefact conceptuel (Bereiter, 2002; Scardamalia & Bereiter, 2006) peut efficacement soutenir la construction de connaissances.

Sous un autre angle, nous faisons la conjecture que des dispositifs technopédagogiques peuvent encourager ou soutenir le changement de rôle de l'enseignant vers des rôles de tutorat et d'autorité pédagogique.

*La modélisation et les simulations*

La nécessité d'activités pour soutenir les processus de modélisation par l'élève a été évoquée en section 3.1.4 (p. 38). En sciences tout spécialement, la place des simulations est cruciale et nous renvoyons le lecteur à une revue de la question (Coquidé & Le Maréchal, 2006). Par ailleurs nous avons discuté ailleurs (F. Lombard, 1996) l'usage en classe d'une simulation du fonctionnement du neurone (*Neurodule*) que nous avons développée et qui a été utilisée durant une vingtaine d'années.

Nous avons vu que la science expérimentale peut aussi être décrite comme la modélisation du monde naturel et la démarche expérimentale comme un aller-retour entre le modèle et le « référent empirique ». Il faut noter que les possibilités de simuler font partie des espaces de confrontation avec des données dans la mesure où elles s'inscrivent dans un processus de modélisation « c'est-à-dire la construction, l'adaptation, l'utilisation des modèles. » (Martinand, 1996 p.1).

Les simulations sont une opportunité et une menace pour la construction de modèles : on peut les utiliser pour aider l'élève à prendre conscience qu'ils sont « hypothétiques modifiables et pertinents pour certains problèmes dans certains contextes » (Martinand, 1996) si elles sont intégrées dans des allers-retours entre le modèle et le référent durant la « phénoménographie » (Martinand, 1996). Une fois ce processus réalisé et que les élèves ont développé les trois caractéristiques (hypothétiques, modifiables, pertinence limitée) de leurs modèles, la simulation prend tout son sens pour explorer la puissance explicative du monde que le modèle incarne « phénoménologie » (Martinand, 1996). C'est alors que les outils authentiques qui incarnent ces modèles (BLAST, par exemple) peuvent réellement produire des savoirs scientifiquement étayés.

Nous pensons avec Bereiter que la discussion des modèles que se font les élèves à travers des artefacts conceptuels – ici les simulations - peut être une façon efficace de développer leurs modèles mentaux et l'argumentation scientifique. Ce sont donc sur les interactions autour des artefacts conceptuels plus que sur la simulation elle-même qu'il convient de focaliser l'attention dans la conception de dispositifs. Cela fonde en partie la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage.

### 4.4.5 Une scénarisation majoritairement dans l'artefact technologique ou dans le dispositif : artefact générique ou spécialisé ?

Une question cruciale dans un design étayé par un artefact technologique est le choix entre un artefact spécialisé ou générique. Les activités doivent être très précisément organisées par des scénarios qui donnent du sens à assumer les rôles et régissent leur mise en scène pour guider les apprentissages des élèves dans l'investigation. Il s'agit de déterminer si – ou plutôt dans quelle mesure – cette scénarisation est intégrée dans l'artefact lui-même ou gérée dans le reste du dispositif par d'autres ressources, par l'enseignant ou par les élèves.

Un artefact technologique qui a des affordances particulièrement adaptées à l'usage spécifique – par exemple CSILE/Knowledge Forum© (Scardamalia, 2004) a été spécialement produit pour soutenir et analyser le débat scientifique – est généralement mieux adapté, mais plus lourd à gérer et très difficile à modifier en cours d'activité. A l'inverse, un artefact générique, souple, peut être intégré dans une scénarisation très rigoureuse d'un dispositif qui est organisé et structurant. Nous avons choisi la deuxième voie pour plusieurs raisons : souplesse, disponibilité, acceptabilité.

La souplesse nous a paru nécessaire pour permettre l'adaptation du dispositif en cours d'année dans la méthodologie choisie, mais aussi pour permettre les régulations nécessaires dans la conduite de la classe. En effet, nous nous référons à une planification cognitiviste (Altet, 1993) qui établit des étapes et mesure l'achèvement des activités en termes de démarches cognitives des élèves comme le questionnement, la découverte, l'application, la consolidation, l'institutionnalisation d'une compétence et prévoit diverses options quant aux moyens pour atteindre ces étapes, plutôt qu'une planification en termes rigides de durée systématique d'activités, qu'Altet appelle planification *technologique*.

La disponibilité ensuite : au début de cette recherche, nous avions accès aisément aux wiki de TECFA et la découverte en cours de route des travaux de Scardamalia, Bereiter, Sandoval et même la possibilité de déployer Knowledge Forum© proposée par d'autres chercheurs n'a pas été retenue afin de permettre la continuité de l'étude dans la durée.

L'acceptabilité enfin : une des contraintes de ce projet a été un contexte politique et institutionnel très méfiant de la recherche, nous l'avons vu plus haut et l'inquiétude qu'elle ne mène pas à des connaissances adéquates. Alors que la démonstration de résultats probants n'est pas attendue des formats d'enseignements traditionnels, un format perçu comme différent doit faire ses preuves plus explicitement. Or le dispositif développé dans ce projet risquait d'être

perçu comme assez radicalement différent dans sa forme basée sur un wiki. Reposant sur un artefact technologique qui apparaitrait encore plus marqué par la recherche, le dispositif aurait probablement été difficile à faire accepter.

Par conséquent, l'essentiel de la scénarisation est dans l'organisation, la structuration des activités, plutôt que dans l'artefact technologique. Il vaut la peine de préciser que cela ne signifie pas que l'enseignant contrôle tout le déroulement. Au contraire, nos résultats confirment qu'il est souvent judicieux d'inscrire dans l'organisation du dispositif des mécanismes de régulation.

Par exemple, nous avons vu que l'étayage structurant implique notamment de définir clairement les exigences de qualité des productions : ce qu'est une « bonne réponse » afin que l'élève puisse savoir s'il progresse dans la bonne direction. La règle qu'un paragraphe doive donner la réponse à la question qui l'introduit est une modalité d'étayage de la structuration qui oblige les élèves à dissocier les concepts au fur et à mesure qu'ils se complexifient et conduit à préciser la question : inscrite dans le dispositif, elle libère l'enseignant tout en guidant l'élève efficacement.

Dit autrement, une dissection des rôles impliqués permet d'attribuer – ou de proposer – la responsabilité de ces rôles de manière réfléchie alors que la tendance naturelle des enseignants est de garder une grande part du contrôle "*Aspects of teaching that involved student control and motivation were perceived as the greatest problems for teachers across all experience levels.*" (Veenman, 1984 p. 157). Une part importante de la discussion porte donc sur la scénarisation en termes de rôles.

### 4.4.6 **Writing to learn: écrire pour apprendre.**

Les liens entre l'apprentissage et le langage sont étudiés depuis longtemps (Dewey, 1911; Vygotsky, 1978). On peut citer à titre d'exemple en France le dispositif des Travaux Personnels Encadrés (TPE), bâtis autour de traces écrites des observations ou des expériences et de l'analyse de ces traces.

L'activité d'écriture occupe une place centrale dans l'éducation et la simple réécriture est fréquemment prescrite aux élèves pour apprendre, distinguons cependant d'emblée une écriture *d'expression* et une écriture de *transformation* de connaissances (Bereiter & Scardamalia, 1987).

Les effets éducatifs varient énormément selon les usages de l'écriture : on ne travaille pas les mêmes compétences lors d'une simple recopie sous dictée ou lors de la co-écriture guidée d'une synthèse de textes scientifiques dont on assume la responsabilité en vue d'une production importante pour les autres élèves. Lorsqu'on s'intéresse à l'écriture en se focalisant sur son potentiel en tant que moyen d'apprentissage plutôt que sur la production ou la simple restitution, on parle de *Writing to Learn* (Britton, 1972). Plusieurs auteurs p.ex. (Keys, 1999) et toute une littérature étudient les effets et les conditions de cette écriture.

Nous faisons donc la conjecture de l'importance d'une question importante pour l'écrivain et d'un feed-back, d'un public réceptif pour favoriser l'implication de l'élève. Cela fonde en partie les éléments de design suivants : ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe et ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances

> *The popular view seems to be that knowledge. The contribution that a particular writing experience makes to the writer's knowledge development is seen as depending on contextual factors. Any arbitrarily assigned topic, with an error-hunting teacher as the sole audience, may do little for the writer, whereas a topic the writer cares about and an audience responsive to what the writer has to say are the essential ingredients for a profitable experience.*(Bereiter & Scardamalia, 1987 p. 361)

En général, les tenants de ces méthodes partagent l'idée que "écrire" signifie explorer les relations entre les idées, partagent une vision plutôt constructiviste de l'apprentissage et pensent que certaines productions écrites permettent de favoriser des apprentissages riches, notamment la pensée critique, le changement conceptuel, les processus métacognitifs (Klein, 1999). Les mécanismes de ces effets éducatifs sont encore débattus :

> *Writing produces generally positive, but inconsistent, effects on learning. The reasons for this inconsistency are unknown. This review examines four hypotheses about writing-to-learn: Writers spontaneously generate knowledge at the "point of utterance "[…]; writers externalize ideas in text, then reread them to generate new inferences […]; writers use genre structures to organize relationships among elements of text, and thereby among elements of knowledge […]; and writers set rhetorical goals, then solve content problems to achieve these goals […]. These four hypotheses invoke different aspects of writing, and so are mutually compatible.* (Klein, 1999 p. 204)

Un bilan des recherches sur l'écriture plus spécifiquement dans l'apprentissage des sciences (Catel, 2001) met en évidence le pouvoir formateur de la production d'écrits scientifiques à visée d'apprentissage.

Cette écriture peut avoir plusieurs buts :

> La construction d'une pensée scientifique implique de conserver la trace graphique des cheminements intellectuels. […] Les fonctions de ces écrits sont diversifiées, puisqu'ils peuvent servir :
>
> - à retrouver la trace d'une action ou d'un résultat antérieur (mémoire de papier) en vue d'une reprise ou d'un prolongement;
>
> - à noter ce qui risque d'être oublié au cours de la réalisation d'une tâche (mémoire de travail);
>
> - à ancrer les échanges au sein du groupe sur des données tangibles;
>
> - à communiquer les fruits d'une recherche...
>
> Notons surtout que si le compte rendu final vise la mise au net de ce qui a préalablement été pensé, les traces graphiques dont il s'agit ici accompagnent une pensée qui se cherche, et contribuent d'ailleurs à son émergence et à sa structuration (Astolfi & Develay, 2002 p. 54)

Nous faisons d'abord la conjecture qu'un espace d'écriture numérique partagé peut avoir un effet « mémoire de papier », mémoire de travail. Ainsi les espaces d'écriture devront avoir cette fonction de mémoire. Il doit proposer des affordances pour fixer un état de cette construction. En effet, les productions – écrites – peuvent fixer dans l'espace d'écriture un état de cette construction interactive dans un parcours scolaire en pointillé. Sinon ce qui a été construit lors d'un cours risquerait bien d'être oublié la semaine suivante sans ces traces. Nous nommerons cette fonction de mémoire externe et partagée entre les membres du groupe la propriété « anti-Sisyphe » qu'un espace d'écriture partagé devra posséder.

Par ailleurs certains auteurs (Astolfi & Develay, 2002) soulignent que cet espace d'écriture peut jouer un rôle d'ancrage des échanges, et soutenir la construction de la pensée fondant l'élément de design ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé) et la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage.

Enfin et peut-être principalement, nous nous intéressons ici aux textes qui « accompagnent une pensée qui se cherche, et contribuent d'ailleurs à son émergence et à sa structuration ».

On a affaire ici à des textes de genres littéraires variés et souvent assez brefs, mais souvent retravaillés de manière itérative. De plus, l'écriture publique et partagée permet des interactions cognitives qui peuvent favoriser le conflit sociocognitif (Alava, 2000) et jouent un rôle clé dans la construction de communautés d'apprentissage ou d'apprenants supportées par les technologies (Martel, 2005).

Nous conceptualisons l'écriture pour apprendre dans l'investigation comme outil conceptuel faisant partie de la triade *comprendre, synthétiser* et *écrire* parce que la synthèse résulte d'un choix des ressources puis est à la fois une activité cognitive et une activité d'écriture (Rouet, 2006 p.192) parle de « Evaluation-Selection-Processing (ESP) ». Sous un autre angle, (Reiser, 2004 p. 290) souligne que les technologies peuvent être utilisées non seulement pour étayer, structurer, guider, mais aussi pour obliger l'élève à expliciter par l'écriture, à décider, ou pour faire apparaître les lacunes et les incohérences. Plutôt que de rendre plus confortable l'apprentissage de l'élève, il s'agit d'encourager voire obliger les confrontations avec le problème ou la complexité.

Cette activité implique des activités cognitives de moyen à haut niveau (Bloom, Englehart, Furst, Hill, & Krathwohl, 1956). D'abord il s'agit du niveau 2 soit *« Comprehension »* que (Crowe, Dirks, & Wenderoth, 2008) décrit comme « *DESCRIBE or explain in your own words, re-tell, or summarize"*lorsque les élèves s'occupent de comprendre les textes lus et les décrire pour leurs camarades. Cependant des activités cognitives de haut niveau (5) que (Crowe, et al., 2008) décrit comme « *CREATE something new using/ combining disparate sources of information* » sont impliquées lorsque les élèves font la synthèse de plusieurs documents en vue répondre à une question précise. On voit ici combien une simple réécriture diffère d'une réelle synthèse. Si l'élève peut simplement résumer des réponses, il pratique le niveau 2 et s'il assume la responsabilité d'une synthèse, il pratique le niveau 5. C'est parce que la réponse ne se trouve pas telle quelle dans les activités ou dans les documents que la question oblige à la synthèse de textes lus.

### 4.4.7 **Un espace d'écriture partagé comme soutien à la construction de connaissances**

Nous avons retenu la nécessité d'une production pour étayer la construction des idées par l'élève et leur débat. Nous avons vu le potentiel de l'écriture pour apprendre dans un environnement qui tolère l'erreur et qui facilite le feed-back constructif de l'enseignant et permet l'interdépendance positive comme la responsabilité individuelle. Ces caractéristiques dessinent les grandes lignes d'un espace de co-écriture dans un espace d'écriture partagé qui soutienne l'argumentation scientifique, qui puisse s'articuler à des phases de discussion et de métacognition qui mènent à de nouvelles questions (Bishop et al., 2004), (Hounsell & McCune, 2002) et qui soit organisé de manière à favoriser l'argumentation (cf. par exemple (Scardamalia & Bereiter, 1996)). Cela fonde l'élément de design ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé).

Ainsi les caractéristiques de l'environnement numérique qui étaye l'apprentissage doivent être congruentes avec les caractéristiques pédagogiques du dispositif dans lequel il s'inscrit.

Il doit donc :

- favoriser l'écriture itérative et coopérative des élèves
- constituer une mémoire externe
- faciliter le débat et l'argumentation
    - permettre d'expliciter ses représentations afin de les confronter : artefact conceptuel
    - étayer les débats
- faciliter le suivi par l'enseignant
- tolérer les erreurs ou permettre leur récupération

- focaliser sur l'augmentation des connaissances plutôt que leur mise en forme
- permettre d'identifier les contributions individuelles et les sources.

Nous avons vu que si l'erreur est considérée comme une étape dans la construction des connaissances, le dispositif doit conduire à les dépasser.

Et donc que si dans les phases de construction des idées on peut tolérer un langage familier, moins précis, l'institutionnalisation des savoirs doit se faire dans les termes et avec le langage précis de la science. Cela fonde l'élément de design ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation.

### 4.4.8 **Les wikis**

Les wikis ont été inventés par Ward Cunningham en 1994 à peine 4 ans après le web. Le terme de wiki est une allusion au Hawaïen « WikiWiki » (cf. Figure 12) qui veut dire vite, rapide. La première implémentation de l'artefact technologique a été nommée *WikiWikiWeb* (Ward Cunningham & Leuf, 2001).

Figure 12 Le terme de wiki vient du Hawaïen Source : (W. Cunningham, 2002)

Les wikis sont des pages Web qui peuvent être modifiées aisément par quiconque muni d'un browser et d'une connexion internet. Ils permettent la communication et la collaboration de groupe asynchrone à distance et ont souvent été proposés comme outil cognitif collaboratif (Delacroix, 2005; Tourné, 2005). Wikipedia est sans conteste le plus célèbre exemple de wiki.

Les wikis sont des artefacts assez génériques qui ont pu être utilisés de manières très diverses, combinant parfois plusieurs de ces usages :

1. Gestionnaire collaboratif de contenus pour produire et distribuer des ressources éducatives.
2. Outil d'écriture collaborative dans différents modèles pédagogiques comme IBL, CSCL, *writing to learn*, etc.
3. Support collaboratif de l'investigation.
4. Gestionnaire de ressources partagées.
5. Gestionnaire des rôles et des répartitions dans un groupe-classe.
6. Hypertexte pour expliciter les relations entre les concepts en vue d'une meilleure compréhension globale.
7. Espace de rédaction partagée dans la rédaction d'articles et de *reviews*, de contenus éducatifs etc. Adapté d'après (D. Schneider, 2006).

Cette diversité des usages des wiki découle de leur faible spécialisation (leurs affordances sont assez génériques), ils peuvent être utilisés pour des fonctions très différentes dans un même cours ou entre des cours.

Nous estimons que les propriétés les plus pertinentes des wikis au contexte éducatif de la construction de connaissances scientifiques sont : i) l'édition directe dans une page , facilitant l'édition itérative d'un texte partagé à distance et à toute heure, la publication immédiate de consensus négociés en classe ii) la mémoire (« anti-Sisyphe ») d'un état d'écriture qui permet de conserver un moment de la construction des questions ou des réponses iii) la réversibilité des interventions sur les textes par l'enregistrement de toutes les versions, ce qui limite les risques de pertes lors d'éditions successives (celui qui a tenté d'écrire un texte à plusieurs avec Word comprendra bien le problème !) et permet de retrouver un texte effacé par un coécrivain en cas de désaccord iv) un historique qui permet de mettre en évidence les différences entre des versions, notamment pour repérer les changements dans le suivi de l'élaboration des textes v) des possibilités d'édition très limitées permettant la structuration mais n'offrant que peu de possibilités de mise en forme typographiques favorisant ainsi une focalisation sur la construction d'idées dans le texte plutôt que sa forme vi) enfin c'est un hypertexte qui permet de mettre en relation des fragments de textes et offre la possibilité de structurer en réseau les pages produites sur un thème ou avec des pages complémentaires telles qu'un glossaire, une bibliographie, etc.

Bien que chaque visiteur de la page puisse en modifier le contenu, ce qui ouvre théoriquement la possibilité de malversations, les wikis se sont avérés être des outils collaboratifs ouverts et étonnamment robustes. Notre wiki est resté complètement ouvert durant des années avec moins d'une intervention malveillante par année qui a été résolue en moins de temps que la gestion des mots de passe et des personnes qui les perdent...

On voit que les affordances du wiki expriment une vision assez moderne de la construction des connaissances chez son auteur et confirme que l'artefact technologique ne peut pas être complètement dissocié de ses usages. Au point que certains ont parlé d'apprentissage « wiki way » exprimant une vision socio-constructiviste de l'apprentissage que nous partageons mais donnant implicitement au wiki la capacité de déterminer ces caractéristiques :

> *In our opinion, five main features may be regarded as characteristics of learning the wiki way:*
>
> *(1) A community of learners is involved.*
>
> *(2) They use a shared digital artifact to collaborate.*
>
> *(3) Learning processes are self-regulated and often take place in an informal setting.*
>
> *(4) Emphasis is on the collaborative product, the jointly created artifact (the wiki page, some object of a virtual environment).*
>
> *(5) The community builds new knowledge or will gain some new expertise that had not been part of the community before.* (Kimmerle, Moskaliuk, & Cress, 2009 p.1)

Nous pensons que le wiki ne suffit pas à créer ces conditions, mais qu'il contribue de manière décisive à les rendre possibles en facilitant le point 2, en focalisant l'activité pour le point 4 et en facilitant la mise en évidence des incréments qui matérialisent le point 5. Cela fonde les éléments de design ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), et ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe.

Certains auteurs (Cress & Kimmerle, 2007) analysent les interactions supportées par le wiki en termes d'interactions entre un système social (les élèves et l'enseignant) et un système cognitif (les écritures partagées dans le wiki); nous y voyons des parallèles avec la théorie des situations didactiques de Brousseau, en particulier les interactions entre l'élève et le milieu. Cependant la dimension sociale et de construction de connaissance nous paraît plus clairement explicitée par la référence au modèle de « *knowledge building* » (Scardamalia & Bereiter, 2002).

### 4.4.9 Comment prendre en compte les difficultés induites par la médiation ?

Nous allons brièvement relever quelques difficultés liées à la médiation technologique qui guideront la conception des dispositifs.

Avec les wikis, les blogues et autres ENT, les enseignants sont de plus en plus fréquemment amenés à devoir corriger des travaux de leurs élèves dans des espaces visibles d'autrui. On a donc une tâche *conjointe* dans un espace partagé : "*la présence d'enjeux relationnels de réciprocité et de confiance entre les pairs qui pourraient être accentués par la communication médiatisée par l'ordinateur*." (Horman, 2005 p. i).

Un point déjà discuté concerne la transparence quant à l'évaluation, aux objectifs et en particulier les questions d'investigation qui fondent l'élément de design ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur. Un espace d'écriture partagé comme le wiki permet des manifestations d'honnêteté et d'ouverture comme l'écriture immédiate devant le groupe des consensus négociés sur les échéances, les questions d'investigation retenues, le champ des évaluations notées etc. En effet chacun pourrait aller modifier ce qui a été écrit dans l'espace d'écriture et cette transparence, cette vulnérabilité assumée peut développer la confiance entre les participants (enseignant et élèves) et envers le dispositif.

Il n'est pas facile de distinguer les difficultés du travail collaboratif mentionnées plus haut de celles liées à la médiation, "*Les tâches conjointes requièrent plus d'attention et de communication entre les participants.*"(Horman, 2005) cela est vrai sans mais encore plus avec médiation technologique. Justement (Horman, 2005) met en évidence les difficultés de l'interdépendance dans un dispositif similaire au nôtre Cf. Figure 13 :

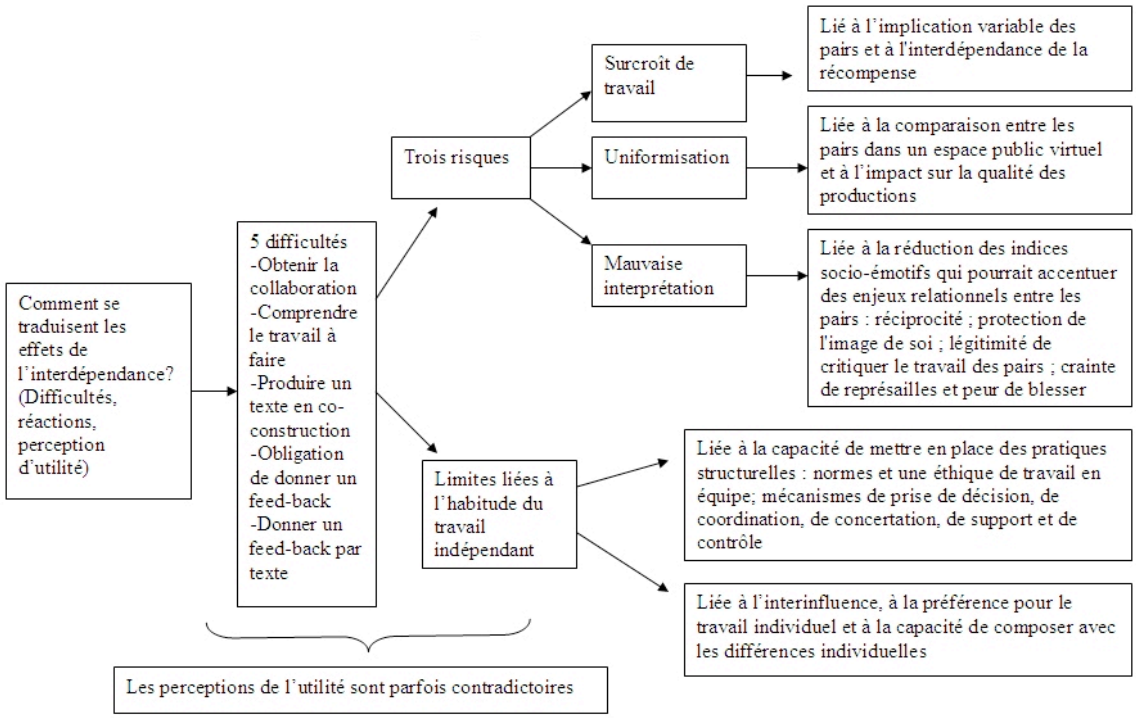



Figure 13 : Les effets de l'interdépendance dans un dispositif supporté par un wiki (Horman, 2005).

La communication à distance réduit la richesse des échanges et peut augmenter le risque de mauvaise interprétation (Horman, 2005) et des réactions plus intenses que lors de communications présentielles.

Cette étude et l'analyse des premières implémentations de notre dispositif mettent en évidence les craintes liées à la mauvaise interprétation : les élèves ont mis du temps à dépasser des réticences à modifier le texte des autres, et encore plus à intervenir dans les commentaires de l'enseignant. Au début de l'année, même quand le feed-back suggère des modifications qui ont déjà été prises en compte, qu'il n'a donc plus de raisons d'être, les élèves ne l'ont pas effacé. Progressivement ces réticences ont disparu.

#### 4.4.10 **La territorialité du texte.**

Modifier le texte d'une autre personne n'est jamais anodin. Cette *"intrusion"* dans l'espace d'écriture de l'autre peut être mal vécue par celui qui se sent *propriétaire* du texte.

Cette question prend un sens particulier quand un enseignant intervient dans toutes formes de document électronique – notamment les wikis - qui est au moins partiellement public et par lequel se produit une interaction à distance.

Nous proposons d'aborder la question en termes de *territorialité* du texte : comme pour le territoire physique, toucher au texte d'autrui suscite facilement des réactions agressives (Morris, 1977).

Si l'on file la métaphore un peu plus, le **marquage** du territoire se manifeste assez clairement par l'importance que tous les créateurs de texte accordent à leur identification comme auteur, et aux réactions assez marquées lorsque des citations ne leur reconnaissent pas clairement la paternité du texte cité. Aussi nous pensons qu'une intervention directement dans un texte par autrui risque d'être perçue comme une transgression et qu'elle nécessite les précautions sociales correspondantes.

Cependant, dans son rôle de tuteur et de responsable des apprentissages, l'enseignant est forcément appelé à intervenir dans le texte des apprenants avec un statut particulier qui doit être manifeste. Il doit aussi encourager l'intervention des élèves dans le texte des pairs. Cela pose des problèmes spécifiques que nous avons reformulés en termes de territorialité et qui fondent l'élément de design ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité.

#### 4.4.11 **Une exposition accrue de l'activité enseignante**

D'autres difficultés que (Horman, 2005) mais aussi (Bibeau, 2005; Jaillet, 2004) mentionnent et que nous avions repérées dès les premières implémentations du dispositif sont les réticences des élèves et des enseignants à exposer leurs idées, leurs réflexions ou leurs évaluations. Cela nous a paru particulièrement vrai en public et dans un espace virtuel fournissant peu de contexte sur la nature du document révélé par un moteur de recherche. Nous faisons donc la conjecture qu'une grande clarté sur le statut du document est essentielle et qu'on peut limiter ce risque en indiquant explicitement dans les documents publiés sur internet qu'il s'agit de travaux d'élèves. Cette crainte peut être celle des élèves mais aussi celle de l'enseignant. On peut aussi restreindre l'accès des documents, ce qui limite l'effet d'amplification de la qualité que le regard public peut produire – celui de la pédagogie du projet – mais plus cohérent avec un document de construction de connaissances où on doit se sentir à l'aise d'exposer une compréhension incomplète. On peut supposer qu'un document très exposé focalise sur le résultat et des buts *de maîtrise* (Buchs, et al., 2008) c'est-à-dire visant l'établissement de rapports de force ou d'affection entre les individus plutôt que le développement de la connaissance.

Nous avons travaillé avec un wiki complètement ouvert durant plusieurs années et en avons restreint l'accès pour la dernière implémentation. La crainte de s'exposer a paru moins grande et l'écriture plus sereine peut-être en rapport avec l'avènement des années « Facebook » et d'autres paramètres qui ont changé. Nous pensons finalement qu'un document interne pourrait plutôt

encourager des buts *de maitrise* dans les phases de co-élaboration par investigation. Une forme de publication finale pourrait être envisagée pour bénéficier d'un surcroît de motivation.

Nous faisons donc la conjecture que les avantages d'un espace d'écriture fermé dans lequel les élèves et l'enseignant se sentent à l'aise d'exprimer leurs idées incomplètes l'emporte sur un espace ouvert aux regards de tous qui aiguillonne les élèves à produire des textes de qualité maximale.

Cet enjeu est particulièrement critique dans le contexte scolaire : le souci de dévolution du document aux élèves est en tension avec le souci de qualité du document. En effet, d'un côté il est crucial d'intervenir avec discrétion dans le texte des élèves, il y a un réel risque de démotivation à trop le changer. Si l'élève ne s'en sent plus maître, il y a un fort risque de perte du sentiment de contrôle qui démotive d'autant (Ryan & Deci, 2000; Viau, 1997). D'un autre côté, il est difficile pour l'enseignant de tolérer des erreurs dans un texte qui est publié sous sa responsabilité. Le texte engage en partie au moins un peu l'image de sa compétence professionnelle et le risque est grand que pour préserver *son image* il en vienne à presque tout réécrire. Naturellement cela pourrait faire perdre aux élèves leur sentiment de propriété du texte et leur motivation.

> Alors m'sieur j'avais passé du temps à écrire mon texte et là vous avez tout récrit : alors, maintenant votre texte vous pouvez vous le garder ! Réponse d'élève en classe, (2002) retranscrite de mémoire.

Nous avons vu de nombreuses tentatives d'investigation dégénérer faute d'avoir trouvé comment dépasser ce problème classique (Perrenoud, 1998). Le problème vient en partie de la confusion – très fréquente il nous semble – entre la qualité du travail de l'enseignant et celle des productions de ses élèves. Cette confusion découle probablement d'une vision transmissive du rôle de l'enseignant (Perrenoud, 1998).

| | Changement d'habitude | Relation entre les pairs | Risques | Perception d'utilité |
|---|---|---|---|---|
| Co-construction en équipe virtuelle | Passage du travail par division des tâches à un travail en association avec les autres : aucune équipe n'a produit un texte final en co-construction et la moitié des équipes ont eu de la difficulté à obtenir la collaboration. | Exige plus d'implication des pairs dans la production du travail. Exige une capacité à vivre l'interinfluence (composer avec les différences, construire à partir des idées des autres). | Risque de dépasser ce qui est concevable par les étudiants : exigence non réalisée et/ou non perçue. Risque de surcroît de travail pour obtenir la collaboration ou faire le travail à la place des autres. | La CMO, comme espace de partage de ressources, est appréciée. Le travail en équipe dépend de l'implication. La CMO est moins pertinente pour les gens qui se fréquentent régulièrement et limite la capacité d'interinfluence. |
| Partage de texte dans un espace public virtuel numérique | Nouvelle façon de travailler : écrire un texte destiné aux pairs et non seulement au professeur. Ceci a introduit une complexité et une difficulté à comprendre le travail à faire. | Le caractère public des productions a introduit des possibilités de comparaison entre les pairs. Ceci a été vécu comme de l'incertitude ou un support. | Risque d'uniformisation par conformité au groupe des pairs. Les étudiants pourraient avoir tendance à produire des travaux similaires à ceux des autres étudiants. | Le caractère public des productions a introduit une possibilité de qualité accrue (texte plus précis, plus élaboré, mieux structuré, jugement critique). Cependant les étudiants disent que leur texte n'aurait pas été meilleur s'il l'avait remis seulement au professeur. |
| Échange de feed-back médiatisé par l'ordinateur | L'habitude de faire le travail à la dernière minute et de le remettre au professeur sans relecture contraste avec la pratique de l'échange de feed-back. La forte réaction à l'obligation de donner et recevoir du feed-back indique que la pratique de l'échange de feed-back pourrait être une habileté à développer. | Exigence de réciprocité entre les pairs (effort et intérêt). Enjeux relationnels entre les pairs : la protection de l'image de soi, la légitimité de critiquer le travail des pairs, la crainte des représailles de la part des pairs et la peur de blesser. | Risque de mauvaise interprétation par les pairs liée à la CMO. Les étudiants ont réagi fortement à la forme textuelle du feed-back. | Ouverture au feed-back des pairs. Perception par les étudiants d'un potentiel d'amélioration des productions. La perception d'utilité de l'échange de feed-back est conditionnelle à l'implication des pairs. L'interaction médiatisée par le texte soulève des enjeux relationnels et exige plus d'effort que dans les situations de face à face. |

Tableau 2 : Les changements d'habitude, dans les relations entre pairs, les risques et les utilités perçues selon les aspects de l'apprentissage collaboratif supporté par des technologies. Source : (Horman, 2005).

L'apprentissage se fait par les perturbations socio-cognitives (Perret-Clermont, Grossen, Nicolet, & Schubauer-Leoni, 1996) qui se manifestent par des conflits d'idées dans le débat scientifique que nous cherchons à développer. Or il ne peut guère y avoir de débat sans que les idées émises par d'autres soient critiquées.

Dans un wiki, les précautions employées lors des échanges présenciels pour atténuer les effets des critiques du travail d'autrui ne sont pas aisément applicables. Les conflits risquent bien d'être résolus par le recours à l'autorité, par les régulations relationnelles (adhésion aux idées par affinités - inimitié, crainte du conflit, abandon par domination, etc.). Or nous avons vu plus haut avec les recherches sur le travail coopératif (Buchs, Lehraus, & Crahay, sous presse) qu'une régulation épistémique des conflits réduit ce problème et augmente les apprentissages.

De manière convergente, (Scardamalia & Bereiter, 2002) suggèrent qu'une focalisation du groupe sur la construction de connaissances (communauté d'apprentissage) peut contribuer à réduire ce problème en focalisant l'activité du groupe sur une production commune de connaissance.

Nous avons donc conjecturé qu'une organisation du dispositif établissant clairement la responsabilité individuelle (Buchs, et al., sous presse) devrait aider à réduire le problème de l'investissement inégal dans le travail, et que l'exploitation judicieuse des affordances pour visualiser la contribution de chacun devrait donc être prévue dans le dispositif. Cela fonde l'élément de design ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives.

Cette suggestion peut paraître en tension avec le souci de construction commune de connaissances et de régulation épistémique qui incitent à détacher les idées – et donc le texte –

de leur auteur. Le paradoxe se résout – partiellement au moins – en dissociant des interventions incitatives dans le texte, focalisées sur l'amélioration de la connaissance commune – argumentatives et épistémiques donc très peu personnelles – et des interventions de régulation sur l'investissement individuel où l'enseignant assume pleinement le poids de son autorité pédagogique. Cela fonde l'élément de design ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant) et ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes.

De plus nous conjecturons qu'un comportement coopératif peut résulter à la longue de l'effort de rectification que doit fournir l'auteur lorsqu'un texte est signalé comme non conforme et par la pression des camarades. En effet, lors des examens et notamment de l'activité IIIB de test du contrat didactique, lorsqu'un fragment de texte ne s'est pas avéré vraiment efficace pour réussir l'examen, l'élève qui en est l'auteur – ils savent bien qui a écrit quoi – risque de se voir contesté par ses pairs et devra le récrire (la responsabilité individuelle), ce qui incite chacun à assumer l'interdépendance positive. Nous conjecturons que ces incitations de responsabilité individuelle finissent par être internalisées et que l'interdépendance positive rendrait à la longue les régulations par l'enseignant moins nécessaires et la communauté d'apprentissage prendre corps dans une autorégulation.

Nous faisons donc la conjecture que le dispositif doit être focalisé sur la construction commune des savoirs permettant les connaissances individuelles, que les idées exprimées doivent être détachées de leurs auteurs et prises en charge de manière collective dans un but d'amélioration de la connaissance (ED2), mais que l'enseignant doit pouvoir objectiver l'ampleur et la qualité (adéquation, approfondissement, complexité épistémique (cf. Méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) des contributions pour réguler l'implication avec tout le poids de son autorité pédagogique (ED4).

### 4.4.12 **Une visibilité du travail des élèves accrue**

Le texte de (Horman, 2005) met aussi en évidence que les changements du contrat didactique implicite peuvent perturber les habitudes de travail des élèves en termes de régularité du travail et d'horaires. Probablement que les élèves ont des habitudes très diverses quant au travail pour la biologie, sans doute pour beaucoup une implication irrégulière et juste avant les examens. Or la réification des interactions rend beaucoup plus visibles le travail de chacun des élèves (ce qui est souhaitable et fait souvent défaut (Hofstein & Lunetta, 2004)) et même les moments où ils interviennent dans l'espace d'écriture partagé (wiki). Si cela développe la responsabilité individuelle, c'est une cause d'inquiétude ou d'inconfort selon l'étude québécoise (Horman, 2005). Cela peut conduire à une implication plus grande des élèves dans le dispositif, mais peut aussi être la cause de désinvestissements ou de blocages. Il semble que la qualité de la relation pédagogique entre les élèves et l'enseignant soit ici décisive. Nous pensons en particulier à la confiance – discutée plus haut – que les élèves ont dans le dispositif quant aux apprentissages auxquels il peut conduire. Cela fonde les éléments de design ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur et ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance.

Notons bien que la réflexion sur la confiance – souvent pensée autour de celle de l'enseignant – doit être élargie pour inclure les autres élèves, l'artefact et son usage : le dispositif entier. D'elle dépend l'investissement dans la responsabilité de certains rôles ou tâches. Selon les représentations que l'usage peut avoir des technologies et de leurs usages (Karsenti & Larose,

2002) cette confiance n'est pas facilement accordée. La confiance que l'enseignant a dans les capacités des élèves dans un tel dispositif est aussi une variable. Cela fonde l'élément de design ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables.

Nous faisons donc la conjecture qu'une grande clarté dans le contrat didactique et sur la visibilité et les usages des informations à propos du travail des étudiants dans le dispositif est nécessaire pour développer la confiance dans un dispositif d'amélioration de la connaissance. Nous faisons donc la conjecture que des opportunités de démontrer l'efficacité du dispositif peuvent construire progressivement la confiance de tous les acteurs. C'est ce qui justifie l'activité IIIb qui sera décrite plus bas. (Cela fonde en partie l'élément de design ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages).

### 4.4.13 Le rôle de l'artefact technologique dans la construction des questions

Nous avons vu que les questions pilotent l'investigation et nous allons discuter brièvement le rôle que l'artefact peut avoir dans la construction des questions.

Nous avons vu le rôle de mémoire « anti-Sisyphe » que le wiki peut avoir : l'enregistrement dans le wiki évite la disparition des questions pertinentes surgies dans l'argumentation et les activités destinées à les susciter et enregistre leur reformulation durant le processus d'investigation où elles s'affinent progressivement : la *Progressive differentiation* (Ausubel, 1963). Effectivement, les questions évoluent, se précisent avec la progression de la compréhension du groupe au cours de l'investigation, et doivent être régulièrement discutées quant à leur adéquation aux objectifs, au paradigme de la discipline, etc.

Dans la mesure où elles guident l'apprentissage, nous pensons qu'il est opportun de les considérer comme des objectifs-obstacles (Astolfi & Peterfalvi, 1993). La négociation d'un consensus sur ces objectifs est naturellement cruciale et peut être facilitée par un espace partagé où sont manifestées les questions résultant de ces négociations, accessibles à tout moment à chacun. La structuration des écritures partagées s'organise naturellement autour des questions d'investigation actuellement en vigueur. Cela fonde un élément de design ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur.

Nous avons vu avec (Hakkarainen & Sintonen, 2002) que des dispositifs technopédagogiques comme CSILE (Scardamalia, 2004) peuvent étayer un affinage des grandes questions explicatives par le biais de questions plus précises. Cela fonde la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. L'artefact wiki peut être utilisé dans ce rôle par son accessibilité partagée, l'édition facile, la réversibilité et les comparaisons de versions que permet l'historique. Il rend possible l'élément de design ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé).

Nous discuterons en détail ce double mouvement des questions vers les ressources et des ressources vers les questions dans les résultats. Notons cependant que les premières implémentations du dispositif ont fait apparaître qu'afin de contraindre les élèves à produire des textes pertinents aux objectifs et conceptuellement approfondis, les ressources auxquelles ils ont recours, mais aussi la nature des consignes d'écriture était décisive. Quelques règles simples (ED 1, 2, 5 et 9 en particulier) qui se sont avérées remarquablement puissantes seront discutées dans la section résultats.

### 4.4.14 **Le rôle des technologies dans le suivi de la progression**

Nous cherchons un design dans lequel la production commune de savoirs constitue un enrichissement du milieu, un lieu d'interaction des « systèmes de connaissances » (Brousseau, 1998) des élèves, un artefact conceptuel (Bereiter, 2002) qui soutienne des interactions développant les connaissances scientifiques de chacun des élèves.

Parce qu'elles réifient les interactions, les technologies fournissent des traces de la progression des apprentissages – ou non – des élèves rendant possible un feed-back plus adapté aux difficultés d'investigation dans lesquelles ils avancent. Ces données – habituellement rares – sont la base d'une évaluation formative et permettent une action enseignante mieux ciblée.

> L'enseignant anime, relance, conseille, et présente certaines exigences. A d'autres moments il observe en laissant les élèves autonomes. Il oriente l'activité tâtonnante, surtout de manière indirecte, par des suggestions ou des apports, qui modifient l'activité, facilitent les échanges entre groupes, reformule ce qui est dit et fait. Il provoque des moments d'explication, de vérification, de confrontation, de communication (moments structurants). (Astolfi & Develay, 2002 p. 111)

Cette réflexion, celle concernant les interactions avec l'enseignant, fonde une partie de la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage.

Nous avons relevé l'importance d'un feed-back positif, constructif, très précis et fréquent sur les productions d'élève :

> *Technology can help to make students' thinking processes more visible to the teacher, something that does not happen when students simply turn in a completed assignment for checking and grading. As teachers observe their students working with computer applications, they can see the choices each student is making, stop and ask about the student's goals, and make suggestions for revisions or different strategies.* (Means, Olson, & Ruskus, 1997 p. 18)

L'artefact choisi devra donc faciliter la co-écriture par les élèves en classe ainsi que dans leur temps de travail extrascolaire et rendre visible à tous la progression conceptuelle de la production commune. Il devra faciliter la présentation aux pairs et la confrontation orale et écrite.

Cette position socio-constructiviste détermine une posture enseignante de tuteur qui guide vers l'approfondissement de la connaissance sans corriger ou donner la réponse en signalant une référence qui suscite les confrontations cognitives et les interactions socio-cognitives. Cela fonde l'élément de design ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes. Nous faisons la conjecture que des technologies bien choisies peuvent faciliter une telle posture et nous chercherons donc un espace d'écriture partagé offrant des affordances facilitant l'intervention dans le texte en cours de co-écriture durant et hors des heures scolaires, pour permettre les feed-back enseignants. Il devra aussi réduire les risques de régulation relationnelle, notamment permettant de distinguer dans le texte les feed-back de l'enseignant (ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité). Les wikis permettent des mises en forme simples du texte (l'italique ou la couleur) qui se sont avérées appropriées à cet effet. Une affordance décisive des wikis qui réduit l'intensité émotionnelle des interventions de pairs dans le texte d'autrui est l'enregistrement de toutes les versions. Ainsi une modification du texte n'est pas irréversible : elle équivaut à poser sur l'ancienne version une nouvelle, mais l'ancienne est toujours disponible et un texte *effacé* n'est en fait que *recouvert* par une autre version. Nous avons l'impression que cela réduit l'intensité des réactions territoriales parce que le texte qui manque peut être retrouvé et que cela

contribue à transformer un conflit de territoire (régulation personnelle) en une discussion sur l'opportunité d'un texte plutôt qu'un autre (régulation épistémique).

Sur le plan de l'action enseignante, l'enregistrement de toutes les versions et l'historique rendent possible des comparaisons pour révéler les changements depuis la dernière version évaluée. On pourrait souhaiter une vision plus synthétique de l'ensemble des changements en cours qu'offrent des environnements spécialisés comme Knowledge Forum® (Scardamalia, 2004), mais au prix d'autres lourdeurs discutées plus haut. Lorsque la production d'une seule classe s'exprime en milliers de mots par semaine, on mesure l'importance d'une telle fonction pour permettre le suivi précis et approfondi des productions de plusieurs groupes nécessaire pour guider l'investigation dans cette posture de tuteur.

Un artefact conceptuel implémenté dans un wiki offre donc des affordances permettant de confronter les élèves à un milieu (Brousseau, 1998) où se produisent des formes nouvelles de médiations entre les acteurs du dispositif pour « oriente[r] l'activité tâtonnante, …facilite[r] les échanges entre groupes, …provoque[r] des moments d'explication, de vérification, de confrontation, de communication (moments structurants) ». Plus spécifiquement, le wiki rend possible ou facilite – mais ne produit pas spontanément – des activités d'écriture coopérative et de confrontation d'idées pour étayer et stimuler la construction de connaissances scientifiques.

Cet artefact d'écriture partagée au cœur du design doit notamment remplir un rôle *anti-Sisyphe* de mémoire de papier, conserver les traces des questions d'investigation, ancrer les échanges, mutualiser les connaissances produites au cours de leur évolution, manifester les consensus, matérialiser l'interdépendance dans la production d'un document déterminant pour la réussite de chacun aux examens, visibiliser la responsabilité individuelle et faciliter les confrontations socio-cognitives. Il doit faciliter les feed-back et les régulations, révéler les progressions et l'activité individuelle, fournir l'accès à des ressources et permettre l'activité d'écriture à distance des élèves dans leurs espaces-temps extrascolaires. Un tel dispositif rend possible une forme d'IBL hautement interactive où les élèves peuvent être accompagnés pour développer la validation autonome de leurs connaissances scientifiques.

### 4.4.15 **Le rôle des technologies dans l'accès aux ressources**

Nous allons discuter ici du rôle que la médiation technologique peut jouer dans l'accès aux ressources. Nous avons vu qu'internet offre l'accès à un énorme choix de ressources biologiques de qualité diverse allant de l'excellent mais complexe au simpliste, du scientifique au militant, de la formulation mécaniste des relations entre les unités du système étudié au récit animiste des combats entre des microbes malveillants et des globules blancs intrépides, etc.

Ainsi l'accès par internet à des documents de qualité si variée est souvent décrié comme un problème, surtout dans une vision transmissive où la qualité du document enseignant détermine l'apprentissage ou parce qu'elle constitue un défi pour l'enseignant.

Cette diversité devient une caractéristique du milieu très inhabituelle – un environnement très riche en ressources – mais qui donne du sens à l'exercice de la compétence de validation scientifique. (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves)

Ainsi dès que le dispositif offre d'une manière ou d'une autre l'accès des élèves à internet en classe, cette complexité ne peut plus être ignorée et le risque que les élèves, voire l'enseignant, soient débordés par une information surabondante devient critique. Nous proposons plutôt de développer des dispositifs offrant au début un étayage très solide et structurant, mais explorons dans cette recherche comment des dispositifs technopédagogiques adaptés peuvent contribuer à soutenir efficacement l'élève pour affronter des degrés plus importants de complexité plutôt que de les en préserver. Cela fonde la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage et les élément

de design ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé) ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène.

Plus pragmatiquement, l'accès depuis le domicile par internet permet le travail sur ces ressources de qualité comme des ouvrages de référence scientifiques – qui n'étaient autrefois disponibles que dans les écoles (classe ou bibliothèque) – sans remettre en question les habitudes horaires de travail des élèves. Nous avons pu constater dans l'historique des documents wiki qu'ils travaillent le plus souvent tard le soir juste avant le cours (cf. Figure 20). On peut supposer que cette accessibilité accrue dans le temps évite certains découragements : s'il fallait se rendre à la bibliothèque pour accéder à ces ouvrages durant les heures d'ouverture, il paraît peu probable qu'ils le fassent.

### 4.4.16 **Les ressources électroniques**

De plus, le dispositif étudié repose sur une très abondante collection de ressources électroniques : plus de 1000 articles digitalisés et accessibles en intranet, de nombreuses ressources sélectionnées et groupés dans 38 répertoires thématiques (cf. 10.7 Annexe : Exemples de questionnaire post-secondaire page 381) totalisant 1286 liens vers des ressources internes ou externes répertoriés en avril 2012. Ces répertoires permettent de très rapidement retrouver et fournir la ressource qui semble nécessaire pour confronter les connaissances des élèves et d'insérer un lien dans le wiki pour y guider les élèves directement.

Un espace de dépôt de ressources réservé aux classes est réalisé par un contrôle (.htaccess sur le serveur Apache) des N° IP des écoles et un mot de passe générique : il constitue un intranet. Dans cet espace, la base de donnée d'images (environ 4000) et les articles et textes en pdf (plus de 1000) sont mis à disposition dans les dossiers correspondants sur le serveur. Un travail de digitalisation ou de recherche d'illustrations a été très important au début du projet. Leur capitalisation au cours des années et l'accès actuellement très facile à des images de qualité a rendu cette opération moins importante.

Près de 4000 images déclinées en 3 tailles soit 11603 fichiers (en avril 2012) groupés par thèmes permettant l'insertion dans les documents wiki sont accessibles via un système d'album (Figure 14) – accessible en intranet seulement pour des raisons de copyright.

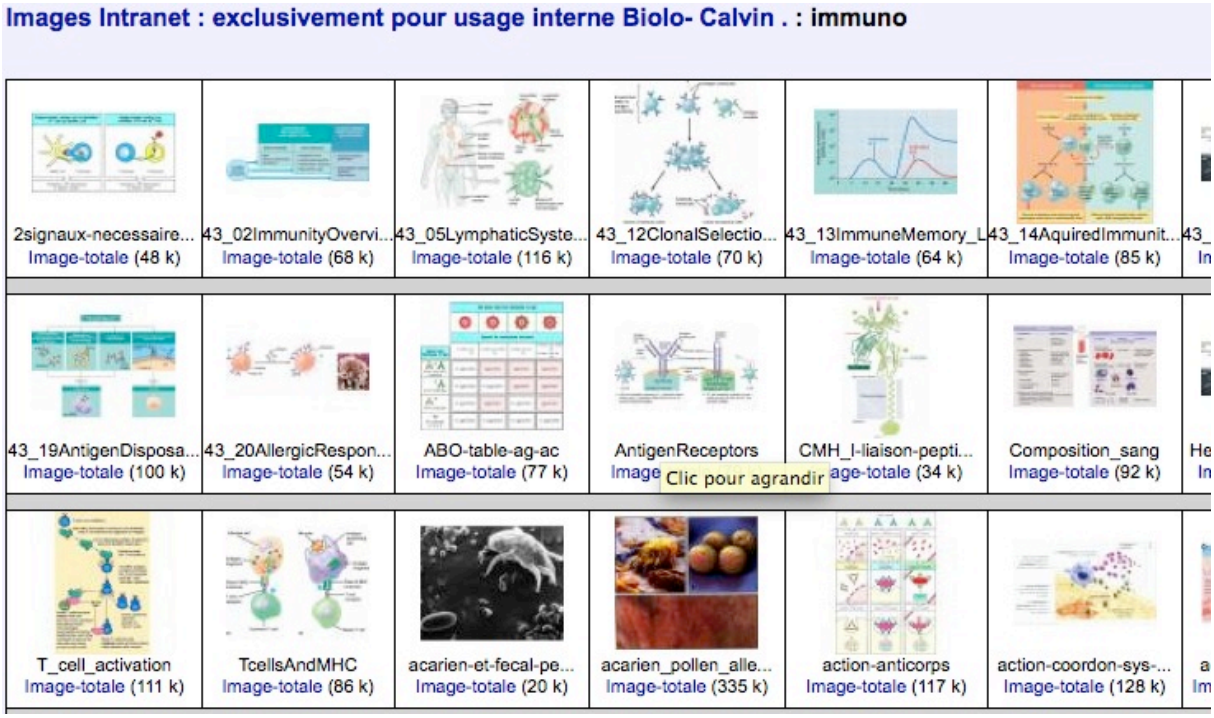


Figure 14 : Un extrait du système d'album pour la mise à disposition des images en accès réservé aux élèves.

Un système d'album en PHP (Fotopholder 2.5) a été mis en place pour présenter les images sous forme de planche contact et déclinées en 3 tailles. Le choix de cet artefact technologique, son adaptation en reprogrammant le code PHP de certaines fonctionnalités, ont permis leur mise en place avec une administration réduite au minimum : le simple dépôt dans des dossiers des images les rend disponibles dans les 3 tailles, en limite l'accès aux classes et fournit une URL pour les afficher dans les pages wiki.

L'organisation de la structure des dossiers reflète l'organisation conceptuelle des activités d'apprentissage, elle correspond aux grands chapitres de l'enseignement de la biologie : ils sont abrégés bio-reviews, biobook, cellule, div, ecolo, embryo, etholo, evolution, genetic-molec, immuno, labos, neuro, physio-anatomo, physio-vegetal, resultats-eleves, sante, vegetal, zoologie.

Ainsi le dispositif repose sur une solide architecture de diffusion de ressources digitalisées et accessibles aisément. Les ressources électroniques permettent de proposer une adresse électronique (c'est-à-dire une URL) qui fournit une image, un texte, guide l'élève dans un ouvrage scientifique directement vers un paragraphe contenant une réponse susceptible de créer la perturbation nécessaire au changement conceptuel.

Pour terminer cette section, nous retenons donc le modèle IBL en vue de développer la validation scientifique par argumentation parce qu'il est susceptible de faire évoluer les conceptions par des confrontations socio-cognitives et qu'il peut conduire vers des ressources authentiques. Nous retenons qu'une structure coopérative dans laquelle les élèves assument la responsabilité de leurs questions et des réponses face aux pairs dans une production qui fasse du sens pour eux est cruciale. Nous retenons que l'enseignant assume l'autorité pédagogique de mettre en place et maintenir le dispositif, notamment la structure coopérative, dans une posture de tuteur, et qu'il conduit les élèves à chercher l'autorité de validation de leurs connaissances dans les ressources expérimentales et leur transposition dans la littérature. Il assume cependant la responsabilité de veiller à ce que l'investigation approfondisse les questions du paradigme et du curriculum.

La recherche d'un modèle d'enseignement des sciences met en évidence deux problématiques : celle des moyens du pilotage respectant la dévolution des questions ainsi que celle du guidage des questions vagues vers celles du paradigme. Nous allons voir comment créer des dispositifs technopédagogiques réalisant des milieux d'apprentissage innovants et où la dévolution, le guidage, la responsabilité, la confrontation des élèves à leurs textes, entre élèves et avec des ressources authentiques ainsi que les feed-back et les régulations peuvent prendre des formes nouvelles. L'analyse de ces dispositifs permet des explorations renouvelées de ces questions.

# 5 Construction des questions de recherche et méthodologies

## 5.1 Objectif de la Thèse

L'objectif de cette thèse peut être formulé en ces termes : « Comment aider les élèves à développer des connaissances scientifiques approfondies en biologie dans des environnements infodenses ? »

La recherche d'un modèle d'enseignement des sciences comme validation par argumentation à partir des données met en évidence un modèle IBL, cependant sa mise en place dans un système éducatif se heurte au paradoxe de l'éducation :

> Au cœur du pédagogique, il y a toujours, en effet, un double projet : inculquer des connaissances et éveiller une liberté, intégrer à une société ou à un groupe et permettre de s'en émanciper, instrumenter les intelligences et interpeler les consciences, évaluer les résultats que l'on obtient en termes de conformité à des critères tout en sachant que la véritable réussite se joue finalement ailleurs, en termes de désobéissance et de rupture. (Meirieu, 1993b p. 270)

Ainsi la mise en place d'un IBL pour l'enseignement de la biologie révèle une tension fondamentale entre le refus scientifique des arguments d'autorité et les nécessités scolaires de couverture curriculaire et d'approfondissement conceptuel dans le paradigme. De plus l'autonomie dans la validation que requiert la connaissance scientifique se heurte à l'ignorance initiale des élèves qui nécessite un étayage structurant, à l'effort qu'exigent les remises en question conceptuelles et aux traditions scolaires d'autorité magistrale. On a une problème de poule et d'œuf : ces questions ne peuvent être explorées que dans un dispositif d'enseignement, mais un tel dispositif nécessite des réponses solides à ces questions pour être élaboré. Le projet a donc pris la forme d'une évolution dans la durée de dispositifs successifs en parallèle à leur conceptualisation et leur analyse. La thèse se construit de ce fait en de trois volets.

D'abord, la thèse vise à conceptualiser un dispositif technopédagogique d'enseignement de la biologie par investigation qui a fonctionné plusieurs années au secondaire II, notamment sous formes de conjectures (CJ) liant des effets éducatifs attendus à des interventions et des variables de design. Ensuite la thèse vise à construire des outils conceptuels d'analyse, notamment des conjectures incarnées (Sandoval, 2004) dans le dispositif sous forme d'éléments de design (ED) permettant son analyse pour produire une description formelle du design. Ensuite, elle se propose d'analyser un dispositif pour vérifier ces conjectures et tirer de cette analyse des recommandations de design (RD, avec leurs limites et de leurs combinaisons) pour concevoir d'autres design qui favoriseraient la construction de connaissances scientifiques – au sens défini plus haut – en biologie dans des environnements infodenses.

Pour atteindre ces objectifs, il a préalablement fallu développer un dispositif qui fonctionne et permette les apprentissages. Sur cette base nous avons pu élaborer un cadre conceptuel qui génère des instruments capables d'analyser les dimensions pertinentes du dispositif (sa nature préalable fait que nous la nommons question de recherche *zéro* Q0). Cela a permis de décrire et valider le dispositif (question de recherche Q1). Enfin nous avons pu l'analyser afin établir les liens entre des caractéristiques (leurs limites et leurs combinaisons) et des effets éducatifs (Notamment des connaissances scientifiques) chez les élèves (question de recherche Q2). Nous les détaillerons plus loin.

## 5.2 Approche générale : *Design-Based Research* (DBR) un paradigme de recherche, un choix éthique

Pour des raisons éthiques et par rapport à nos valeurs d'enseignant, nous avons dès le départ fait le choix que l'ingénierie pédagogique et les méthodes de recherche ne devraient pas se faire au détriment des connaissances biologiques acquises. Les contenus biologiques (termes, mécanismes, démarches (Hounsell & McCune, 2002)) devaient rester très explicitement au centre du dispositif, leur acquisition par les élèves devait être l'objectif très explicite, le critère de pilotage du dispositif et de conduite du dispositif. Cette conjecture fonde l'élément de design ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis.

Etant donné le climat sociopolitique dans lequel ce projet s'inscrit, notamment une méfiance très grande à l'égard de la recherche en éducation, au niveau de l'institution, des médias et particulièrement des milieux socioculturels d'où proviennent les élèves de cet établissement, c'est surtout l'efficacité en termes de contenus acquis, de résultats aux études ultérieures et plus généralement d'apprentissage de la biologie qui ont été mis en avant dans un premier temps, avant les objectifs métacognitifs épistémologiques et pédagogiques (intelligence informationnelle, épistémologie de la science, autonomie dans les apprentissages notamment).

Nous avons postulé que si une méthode pédagogique est meilleure, elle devait conduire à de meilleurs apprentissages et il devait être possible de concilier les objectifs de recherche et d'enseignement. La méthode pédagogique n'a donc pas été choisie en fonction des intérêts de cette recherche, mais cette recherche étudie les conditions dans lesquelles l'application des résultats de la recherche au développement d'une méthode d'apprentissage peut produire des apprentissages spécifiquement scientifiques. Nous avons conscience que cette position détermine une forme de recherche appliquée qui ne remplace pas la recherche plus fondamentale mais s'appuie sur cette recherche pour explorer comment la traduire en dispositifs d'enseignement et tente d'en extraire des règles de design plus générales.

Nous avons vu qu'enseigner peut être décrit fondamentalement comme l'organisation d'environnements avec et dans lesquels les élèves interagissent et ce sont ces interactions qui produisent l'apprentissage. Concevoir un dispositif c'est donc mettre en place des situations (Brousseau, 1998) qui rendront nécessaires et possibles les adaptations souhaitées chez l'élève. Cette conceptualisation marque profondément les dispositifs étudiés dans cette recherche : une part importante de l'action pédagogique est incarnée dans la structure du dispositif, et l'intervention de l'enseignant est en filigrane. Son autorité n'en est pas moins ferme, mais il assume cette autorité de manière indirecte en l'inscrivant dans la structure du dispositif.

Nous avons cherché des méthodes pour étudier comment les modifications d'un dispositif induisent des changements des effets éducatifs et avons retenu le paradigme *Design-Based-Research* (DBR) (Design Based Research Collective, 2003) qui a été formalisé d'abord comme *design experiment* par (A. L. Brown, 1992). Elle montre que non seulement il est difficile d'isoler des variables pour évaluer leur effet dans un système complexe hors du labo, mais que ce n'est pas pertinent ni en termes de recherche, ni en termes d'amélioration de l'apprentissage dans le design. Pour elle, les sciences de l'éducation ont toujours vécu dans une tension entre comprendre et améliorer les processus d'apprentissage. C'est pour sortir de ce dilemme qu'elle a proposé le concept de *Design experiment,* une approche holistique et éthiquement respectueuse de la classe où l'objet de la recherche est le design lui-même. Cette approche a été élaborée par un collectif qui en a formalisé et validé l'approche.

> *...Design-based research, which blends empirical educational research with the theory-driven design of learning environments, is an important methodology for understanding*

> *how, when, and why educational innovations work in practice* (Design Based Research Collective, 2003 p. 5)

Pour eux, les caractéristiques critiques sont d'affronter la complexité, d'intégrer la recherche sous forme d'hypothèses implémentées dans la conception de dispositifs, puis de conduire des investigations rigoureuses pour tester et améliorer des dispositifs tout en définissant des principes de design.

L'intégration de principes de design et d'affordances technologiques pour affronter des problèmes complexes dans des contextes réels avec des praticiens constitue la base dans laquelle une analyse rigoureuse de conjectures conduit à des théories qui améliorent la compréhension des problématiques étudiées que l'on puisse partager et discuter notamment par des publications (A. L. Brown, 1992; A. Collins, 1999; Design Based Research Collective, 2003 p. 5).

Au cœur de l'approche DBR il y a donc le souci de donner aux apprenants le meilleur dispositif d'apprentissage possible tout en produisant des résultats de recherche généralisable.

Par rapport au paradigme *observer-analyser* qui est courant en recherche sur l'éducation, notre démarche est plus interventionniste et sans être vraiment une recherche-action s'inscrit dans le modèle du praticien réflexif (Schön, 1994). Nous pensons aussi que l'approche réductionniste qui sous-tend beaucoup de décisions étayées par la recherche en éducation et en biologie est un obstacle conceptuel pour comprendre DBR.

> *Evaluators often conceptualize context as a set of factors that are independent of the intervention itself but that may influence its effects.* (Design Based Research Collective, 2003 p. 6)

Nos questions de recherche orientent naturellement les méthodologies vers une approche holistique. Vu le nombre considérable de variables très fortement imbriquées, une approche globale est plus appropriée qu'une analyse de chacune des variables isolément sur la base d'hypothèses classiques.

Pour des raisons méthodologiques et éthiques, nous avons renoncé au paradigme expérimental classique qui cherche à isoler les effets d'un nombre limité de paramètres en les variant *ceteris paribus*. D'abord, méthodologiquement, cette approche est difficilement applicable quand le nombre de paramètres est élevé, que les variables sont très liées et qu'on n'arrive pas à distinguer les variables dépendantes et indépendantes ou qu'on n'a pas encore pu identifier celles qui sont importantes, comme c'est le cas dans une étude exploratoire de ce type.

Ethiquement ensuite puisque le dispositif ne doit pas être changé durant toute la durée de l'étude. Or il est possible (Etkina, et al., 2008; Songer, et al., 2002) que de nombreuses recherches ne se soient pas déroulées sur une durée suffisante pour mettre en évidence tous les effets de l'investigation. De plus, comme nous avons argumenté qu'un tel dispositif construit ses effets dans la durée, il serait impossible dans le paradigme expérimental de prendre en compte des paramètres émergeant qui s'avéreraient importants et d'améliorer le dispositif en cours d'intervention. La durée de l'intervention (plusieurs années) et la difficulté à définir ce qui serait l'enseignement de référence rendent impossible la comparaison avec un groupe contrôle. Cela aurait été possible dans un design quasi expérimental, mais n'atteindrait pas notre objectif. Cependant, cela nous parait intéressant comme perspective pour des recherches futures.

Parfois les impératifs de la recherche peuvent être en tension avec les valeurs de l'enseignement : nous avons vu des recherches élaborer des interventions (par exemple le matériel d'enseignement) spécifiquement afin de garantir de la variance dans les résultats (c'est-à-dire s'assurer que certains apprenants réussissent *moins bien* que d'autres), et non pas en vue de réaliser les meilleurs apprentissages pour chacun. Une intervention qui serait capable de conduire tous les élèves à produire des résultats excellents risquerait d'être écartée de cette

recherche et on n'offrirait pas aux apprenants le meilleur dispositif possible. C'est particulièrement problématique sur le plan éthique si l'intervention n'est pas ponctuelle mais durable, or notre recherche s'appuie sur des dispositifs déployés sur l'année presque entière.

La question de la pertinence à des situations de classe de résultats obtenus dans des conditions expérimentales bien contrôlées, inévitablement artificielles, reste débattue :

> *Randomized trials may systematically fail to account for phenomena that violate this method's basic assumptions—that is, phenomena that are contextually dependent or those that result from the interaction of dozens, if not hundreds, of factors. Indeed, such phenomena are precisely what educational research most needs to account for in order to have application to educational practice.*(Design Based Research Collective, 2003 p. 6)

Plusieurs recherches supportent également l'idée que DBR est une méthodologie appropriée pour développer des dispositifs technopédagogiques (Sandoval & Daniszewski, 2004).

Cette approche DBR a contribué à une reconceptualisation durant l'année 2004-2005 du design comme un système dynamique dont l'enseignant serait partie prenante, plutôt que comme un enseignant intervenant sur une classe, ce qui mène à voir l'enseignant comme une variable dépendante que l'évolution du système modifie. L'analyse du système classe – enseignant – ressources s'en trouve facilitée parce qu'il n'y a pas besoin de dissocier les effets éducatifs résultant de l'intervention IBL et ceux de l'enseignant.

En effet, dans le DBR, on recherche plutôt les conditions de production d'un dispositif optimisé : le design est un produit important de la recherche.

> *Because the intervention as enacted is a product of the context in which it is implemented, the intervention is the outcome (or at least an outcome) in an important sense.* (Design Based Research Collective, 2003 p. 6)

La démarche DBR se construit autour de l'analyse d'une situation complexe, un *design*, pour déterminer des changements dont on attend des améliorations. Le design amélioré est implémenté et analysé à nouveau. Cette circularité dans le DBR remet en question certains présupposés de l'approche expérimentale (la constance sauf les variables étudiées *ceteris paribus*) mais lui permet de prendre en compte des phénomènes qui sont dépendants du contexte ou résultant de l'interaction de nombreux facteurs.

Effectivement, au lieu de simplifier la complexité pour isoler quelques variables, on part de l'analyse des problèmes concrets sur le terrain par les chercheurs et les praticiens (Scardamalia & Bereiter, 2006), on développe des solutions sur la base d'un cadre théorique, on évalue et on teste sur le terrain, on documente et on analyse pour produire des recommandations de design ou *design rules*. Ces recommandations expriment des conjectures sur les effets éducatifs des éléments du design.

C'est-à-dire que la manière de réaliser les dispositifs incarne ces conjectures issues de l'analyse des implémentations précédentes du dispositif (Sandoval, 2004) et les effets de ces conjectures peuvent être analysés dans le fonctionnement du design. Ainsi ces recommandations de design sont des résultats mais deviennent dans l'implémentation suivante du dispositif des conjectures dont on teste l'effet.

Pour éviter des ambigüités du niveau auquel le terme *itération* pourrait s'appliquer, nous emploierons le terme *d'implémentations* pour les itérations annuelles du dispositif (ce qui a été mis en place en 2006 ou 2007, etc.) et nommerons *itérations* le processus cyclique que les élèves parcourent en investiguant un thème : les questions qui guident l'investigation conduisent à la production et la confrontation de réponses qui conduisent à de nouvelles questions.

Il faut souligner que ce processus itératif de développement pédagogique et de recherche DBR conduit à améliorer le design au cours de l'observation. Les innombrables changements que le design subit par l'effet des circonstances et des microdécisions de l'enseignant produisent des variantes autour du design de référence. Ces variations permettent de sélectionner celles qui sont favorables et de ne pas reconduire celles qui sont désavantageuses en fonction des buts de recherche et des objectifs d'enseignement. Cela a une importante conséquence sur la construction des designs : la forme initiale du design n'est pas critique, c'est plutôt la qualité de la confrontation aux conditions de la classe qui détermine le résultat.

Nous nous inspirons résolument de la manière dont (Schön, 1994) conceptualise (« modèles d'action ») les théories qui guident l'action et comment l'observation des effets de ces modèles d'action détermine une reconceptualisation, un affinage des modèles d'action. On parle de praticien réflexif et ce modèle a notamment guidé l'analyse de l'intégration des technologies dans la formation des enseignants que nous avons développé à TECFA (Mireille. Betrancourt, Lombard, & Pasquier, 2009; D. Peraya, Lombard, & Bétrancourt, 2008). Nous considérons que ces modèles d'action déterminent les choix dans les dispositifs et leur conduite. Ces choix expriment des hypothèses sur les effets éducatifs attendus, elles sont une théorie incarnée et nous les nommerons *conjectures* en référence à Sandoval.

En nous inspirant de (Schön, 1994) on peut dire qu'au cours des années d'implémentation du dispositif et de son observation l'identification des concepts principaux s'affine (ce sont des *résultats*). L'analyse des observations et des différences entre ce qui est attendu et observé peuvent être traduits en modèles d'action renouvelés lors de l'implémentation suivante. L'enseignant observe donc à travers un *cadre conceptuel* renouvelé qui l'amène à effectuer des interventions et des observations plus pertinentes. Cela conduit à affiner le cadre conceptuel et les modèles d'action qui permettent de nouvelles observations et un guidage optimisé.

La recherche DBR a l'ambition de produire des théories qui ont le potentiel d'être directement utilisables.

> *…The overarching, explicit concern in design-based research for using methods that link processes of enactment to outcomes has power to generate knowledge that directly applies to educational practice. The value of attending to context is not simply that it produces a better understanding of an intervention, but also that it can lead to improved theoretical accounts of teaching and learning.* (Design Based Research Collective, 2003 p. 7)

Nous avons vu que l'analyse de cette situation en termes de milieu et de contrat didactique selon Brousseau est féconde, mais nous n'avons pas su y trouver comment identifier les variables didactiques d'un dispositif exploratoire d'un type encore peu étudié en biologie.

> Les variables didactiques, c'est-à-dire celles qui, dans les situations d'apprentissage, provoquent, lorsqu'on agit sur elles, des adaptations, des régulations, des changements de stratégies, et qui, finalement, permettent de faire avancer la notion en construction. (Astolfi & Develay, 2002 p. 64)

L'identification des paramètres du milieu dont la variation influence particulièrement les aspects de l'apprentissage souhaités (épaisseur métacognitive des connaissances, notamment compétence de validation et de justification, stratégies de sélection des ressources, modélisation, etc.) devrait permettre de discuter des liens entre les modifications du milieu et des effets éducatifs. Nous avons cherché à établir des liens entre des modifications incrémentales d'un système complexe et les effets induits sur les variables éducatives recherchées. Comme le dispositif est complexe, une prise en compte exhaustive est impossible et nous avons fait une sélection.

Nous sommes allés chercher dans la littérature d'ingénierie pédagogique une réflexion sur les variables permettant de définir le dispositif, d'en mesurer le fonctionnement et les résultats. Nous reprenons celles de (Kobbe, 2005) qui montre qu'on peut décrire un scénario en termes d'individus, d'activités, de rôles, de ressources et de groupes. Cette approche assez technologique issue du CSCL nous a permis de définir le dispositif avec une certaine concision.

Nous nous sommes aussi inspirés des guidelines méthodologiques pour l'implémentation, la modification, les modes d'analyse des designs, la mesure des variables dépendantes, des variables indépendantes, et sur la manière de les rapporter de (A. Collins, Joseph, & Bielaczyc, 2004 p 33- 39). Nous reprenons notamment la distinction entre deux classes de variables qu'ils proposent : (1) les variables de climat (*engagement, cooperation, risk taking, student control*) (2) les variables d'apprentissage *(content knowledge, skills, dispositions, metacognitive strategies, learning strategies*). Nous ne reprenons toutefois pas la troisième (variables systémiques concernant le système scolaire). Les variables de climat résultent d'interactions complexes entre les caractéristiques des étudiants et le dispositif. Certaines variables de climat conditionnent l'investigation, notamment la structure coopérative qui permet le *knowledge-building* (Scardamalia & Bereiter, 2006) et un but partagé d'amélioration des connaissances. Elles impliquent des rôles dans lesquels l'élève assume une responsabilité face aux autres élèves qui ne peuvent pas être décrétés. Nous avons nommé « éléments du design » (*design feature*) chaque caractéristique du dispositif qui nous a paru nécessiter la description et la discussion. Tantôt des indications très techniques, par exemple, la distinction typographique des interventions de l'enseignant dans le texte des élèves, tantôt des caractéristiques cruciales et de portée générale dont la discussion est plus approfondie comme par exemple la règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses (ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes). Nous proposerons à la fin une description abstraite basée sur ces éléments de design.

La construction de ces catégories justifie une phase de synthèse conceptuelle qui fonde la question de recherche préalable nommée Q0.

## 5.3 Question de recherche Q0 : Quelle conceptualisation du dispositif en permet une analyse pertinente ?

Puisqu'elle permet de formuler les suivantes, cette question est préalable à l'analyse à proprement parler, d'où sa numérotation de question de recherche préliminaire (zéro).

Il n'y a pas d'analyse sans un cadre de référence qui permet de faire émerger les paramètres importants et dans lequel les mesures prennent du sens.

> Observer ne suffit pas si on ne dispose pas des concepts appropriés. Ce sont eux qui produisent de nouveaux observables. (Astolfi, 2008 p.41)

Parce que notre projet explore des champs jusqu'alors peu explorés, qu'il convoque plusieurs champs de recherche, nous n'avons pas trouvé de champ conceptuel bien établi dans lequel il s'inscrirait et auquel il pourrait emprunter les outils et les méthodes.

Il faut rappeler que le projet se construit à partir d'un dispositif développé d'abord comme une amélioration de l'enseignement de la biologie, avec un cadre conceptuel très peu formulé, constitué d'une longue expérience, d'une posture réflexive, et de confrontation aux sciences de l'éducation à travers les problématiques d'intégration des technologies à TECFA. Il s'est construit et validé avec des choix intuitifs qui se sont avérés parfois féconds. Avec le temps, la dimension recherche du projet a pris le dessus, d'abord comme source d'outils d'analyse et d'observations ou de recommandations de design pour faire évoluer le dispositif, puis comme objet de recherche de plus en plus formalisé. Aussi les méthodologies qui ont servi à la conception initiale du dispositif sont peu formelles, elles sont dans le plan des savoirs

enseignants donc peu discernables dans le plan de la recherche en éducation où cette recherche se place. Nous avons discuté plus haut de la *perpendicularité des savoirs* et du peu d'épaisseur que peuvent sembler avoir des savoirs étendus, lorsqu'ils sont vus dans une autre dimension (section 4.1 (p. 51)).

Un gros travail de conceptualisation a donc été nécessaire pour comprendre et formaliser dans un autre plan – celui de la recherche en éducation – un dispositif conçu et évalué avec des critères et des outils d'analyse propres au plan des savoirs enseignants (pour une discussion de la perpendicularité des plans Cf. section 4.1 (p. 51)). La complexité du dispositif, l'imbrication complexe des variables et des interventions, les enjeux éthiques et la durée de plus de 10 ans d'évolution ont rendu difficile une conceptualisation suffisamment large pour produire une analyse qui puisse avoir du sens par rapport aux valeurs qui ont construit le projet (une validité écologique), mais suffisamment synthétique pour permettre de produire des mesures et des analyses. De plus l'imbrication des résultats avec le cadre conceptuel dans le design – qui est une caractéristique des projets *design-based* – rend plus difficile l'application de certaines méthodologies.

Avant de pouvoir analyser, il a donc fallu élaborer une conceptualisation du dispositif qui rende compte des paramètres perçus comme important et permette de les formaliser suffisamment pour produire des instruments de mesure et d'analyse rendant possible de concilier la synthèse sans perdre la pertinence. Tout cela justifie la nécessité d'une question de recherche préliminaire, qui permet de formuler les suivantes d'où sa numérotation de question de recherche préliminaire (zéro).

### 5.3.1 **Méthodologies pour la question Q0**

La nature exploratoire de ce projet, son positionnement entre plusieurs champs de recherche et la méthodologie itérative signifie que les questions de recherche sont précisées au cours du processus et ne sont stabilisées qu'à la fin du projet. L'identification des variables pertinentes est justement un des résultats les plus importants de la question de recherche Q0. L'évolution du cadre conceptuel conduit à observer certaines variables d'où découle une évolution du cadre conceptuel qui amène à l'observation de nouvelles variables que ce cadre élargi révèle. L'analyse des données des premiers designs implémentés a permis d'identifier les premières variables pertinentes, d'inférer les premières règles de design (Sandoval, 2004), de confirmer ou d'infirmer les conjectures. Ces données ont été réinjectées dans le design afin de produire l'implémentation suivante qui est analysée à nouveau. (A. L. Brown, 1992). Les évolutions du design sont décrites dans la section 6.1.13 Evolutions multi annuelle du dispositif (p. 207). Cette imbrication itérative des résultats et du cadre d'analyse est constitutive de l'approche DBR.

Pour extraire les concepts principaux du design final, nous avons cherché à articuler et structurer les très nombreux concepts qui ont été discutés plus haut à l'aide d'outils de conceptions, notamment de cartes conceptuelles (Novak & Cañas, 2008), puis nous avons identifié dans ces cartes autour des nœuds qui ont paru les plus critiques quelques concepts principaux. Nous avons vu que ces concepts sont d'une part des résultats, puisque l'un des objectifs de la recherche était de les identifier, mais aussi le cadre conceptuel qui a conduit aux questions de recherche et ont guidé l'extraction à partir du vaste corpus de données permettant d'y répondre. La nature circulaire, itérative du processus de la recherche est visuellement manifeste dans ces cartes et les nœuds principaux ont permis de structurer la conceptualisation qui a permis d'affiner et identifier les questions de recherche. Comme cette structuration fait partie de l'élaboration des questions de recherche Q1 et Q2, nous avons fait le choix de la faire figurer avant ces questions, plutôt que dans le chapitre résultats.

### 5.3.2 **Relations entre les concepts**

Nous avons identifié, à partir des conjectures dans le cadrage et d'une première exploration des données, un nombre élevé de paramètres et de concepts favorisant la construction de connaissances scientifiques dans des environnements infodenses. Un travail sur des cartes conceptuelles avec le logiciel CmapTools (Cañas et al., 2004) a mis en évidence les relations entre les concepts, manifestant que l'artefact conceptuel occupe une place centrale, et que s'y accrochent plusieurs nœuds importants autour desquels s'organisent les autres concepts.

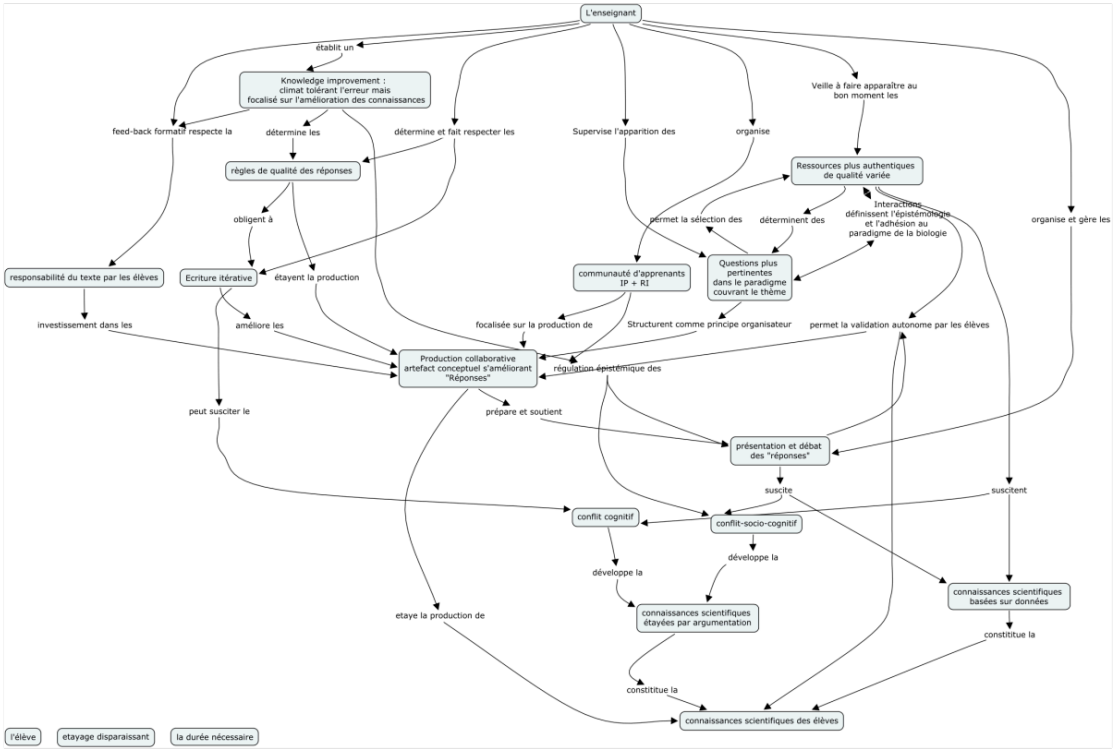



Figure 15 : une carte conceptuelle organisant les concepts décrivant le dispositif. On observe la place centrale de l'artefact conceptuel, la circulation des liens entre questions et ressources en haut à droite, les concepts liés aux variables de climat en bas à droite.

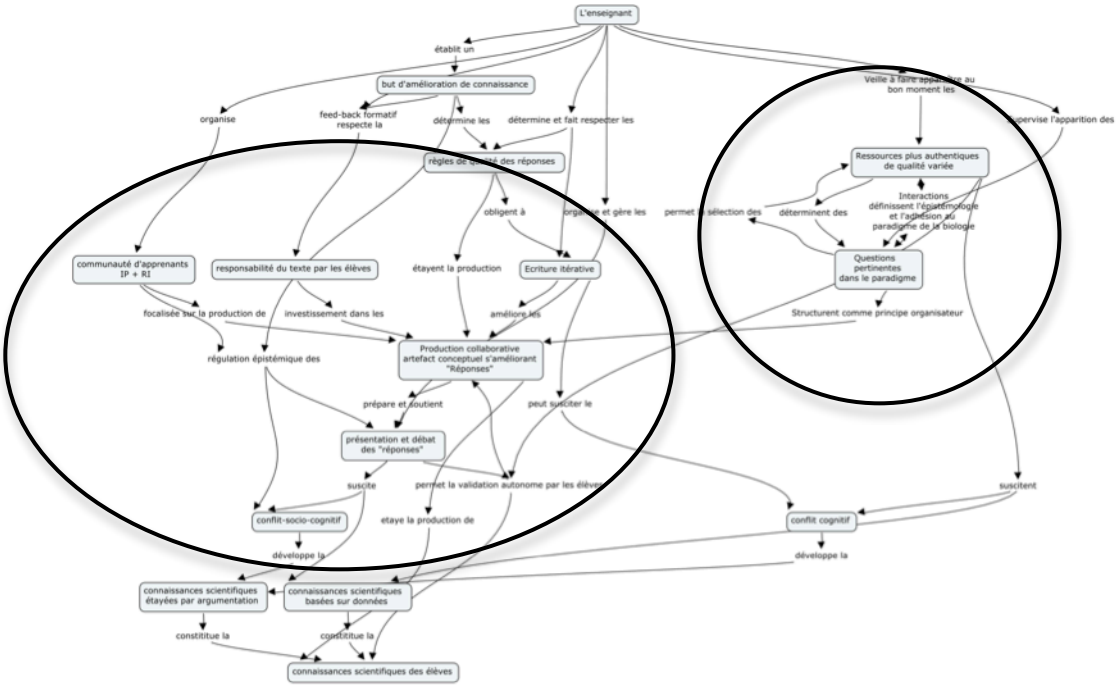



Figure 16 : Une représentation des concepts décrivant le dispositif qui met mieux en évidence – à droite – les liens circulaires entre les concepts « questions », « ressources » et à gauche, l'enchainement de concepts qui mène aux connaissances scientifiques. Cette figure est reproduite en section Cette figure est reproduite en section 10.11 Annexe : Report des figures en pleine page (p. 390).

Nous avons tenté de représenter notre conceptualisation – lors de la dernière implémentation – des conditions qui rendent possible la mise en place de cet IBL et son fonctionnement : les variables par lesquelles leur influence peut être observée en découlent. Nous allons d'abord distinguer deux nœuds dans cette carte conceptuelle pour aider à formuler les principales questions de recherche.

Un premier nœud qui a paru particulièrement intéressant articule les questions, les réponses et les ressources dans une forme de cycle vertueux que nous développerons plus bas. Il est exprimé dans deux conjectures : CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources et CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme,

Un deuxième nœud articule plutôt des conditions et variables de climat qui favorisent l'apprentissage scientifique (c'est-à-dire l'autonomie dans la validation argumentée) de concepts biologiques approfondis par les élèves. La structure coopérative, la construction de connaissances par confrontation d'idées dans l'écriture et la responsabilité assumée d'une part des savoirs envers les pairs (présentation, wiki) y sont centraux. Ces facteurs d'organisation sont exprimés dans deux conjectures : CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions et CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage.

Nous allons maintenant explorer chacun de ces deux nœuds conceptuels pour déterminer les questions de recherche.

### 5.3.3 **L'articulation des questions et des ressources dans la construction de connaissances**

Le premier nœud peut être représenté comme une forme de cycle vertueux conceptualisant la dynamique entre les questions qui évoluent, le choix des ressources qui changent et les réponses produites dans l'artefact conceptuel (basé sur l'artefact technologique wiki). Cette représentation en cycle met bien en évidence le rôle des questions comme principe organisateur et oriente l'attention vers les interactions avec les ressources pour guider l'approfondissement conceptuel et la convergence vers les questions du paradigme. Ces interactions suscitent une question de recherche qui les explore : Comment les ressources s'articulent-elles avec les discussions en classe, le feed-back de l'enseignant pour développer l'approfondissement conceptuel. Une difficulté est que l'investigation nécessite que l'élève «ait » les bonnes questions et qu'elles n'apparaissent pas toujours spontanément. Effectivement, une question ne peut être construite que dans un cadre conceptuel qui lui donne du sens. L'affinage conceptuel par les élèves dans l'investigation devrait rendre possible d'aborder de meilleures questions qui permettraient une investigation plus en profondeur qui améliore la conceptualisation, et ainsi de suite. La confrontation avec des ressources authentiques pourrait conduire vers les questions du paradigme scientifique de la biologie par une sorte d'effet centripète conceptuel que nous avons discuté plus haut. Une (sous) question de recherche qui émerge alors s'intéresse à la manière dont les questions se précisent et convergent vers celles compatibles avec le paradigme : *Q2B- 2 Comment les questions se précisent-elles et convergent-elles vers celles compatibles avec le paradigme ?*

D'autre part, cette conceptualisation suggère que les questions peuvent guider vers des ressources plus authentiques dans le paradigme qui suscitent des questions plus pertinentes ce qui conduit à une (sous) question de recherche : *Q2B -3 : Comment les questions et les ressources guident-elles l'investigation ?*

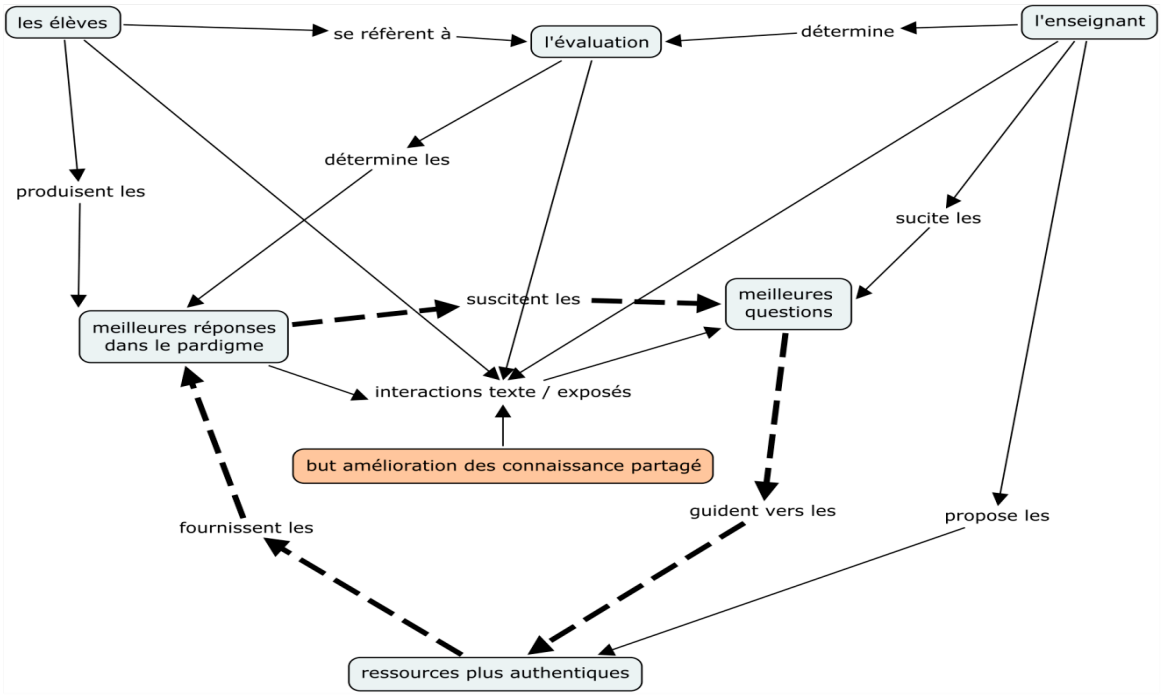



Figure 17 : Conceptualisation de la dynamique entre les questions qui évoluent au cours de l'investigation, le choix des ressources qui se reporte sur des sources plus authentiques et l'adéquation au paradigme des réponses produites dans l'artefact (wiki).

Le deuxième nœud articule plutôt des conditions et des variables de climat qui focalisent l'implication des élèves sur l'apprentissage de connaissances scientifiques approfondies. Nous

considérons ici que cette implication est liée à plusieurs éléments de design tels que la structure coopérative et le but de construction de connaissance partagé *knowledge improvement*, responsabilité d'une part du texte par les élèves, itérations nombreuses, règles de qualité de réponses, alignement des activités avec l'évaluation et les objectifs explicités, une évaluation certificative distincte mais alignée de l'évaluation formative.

Ce nœud conduit à la question de recherche : *Q2A Comment conduire les élèves à se focaliser sur l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ?*

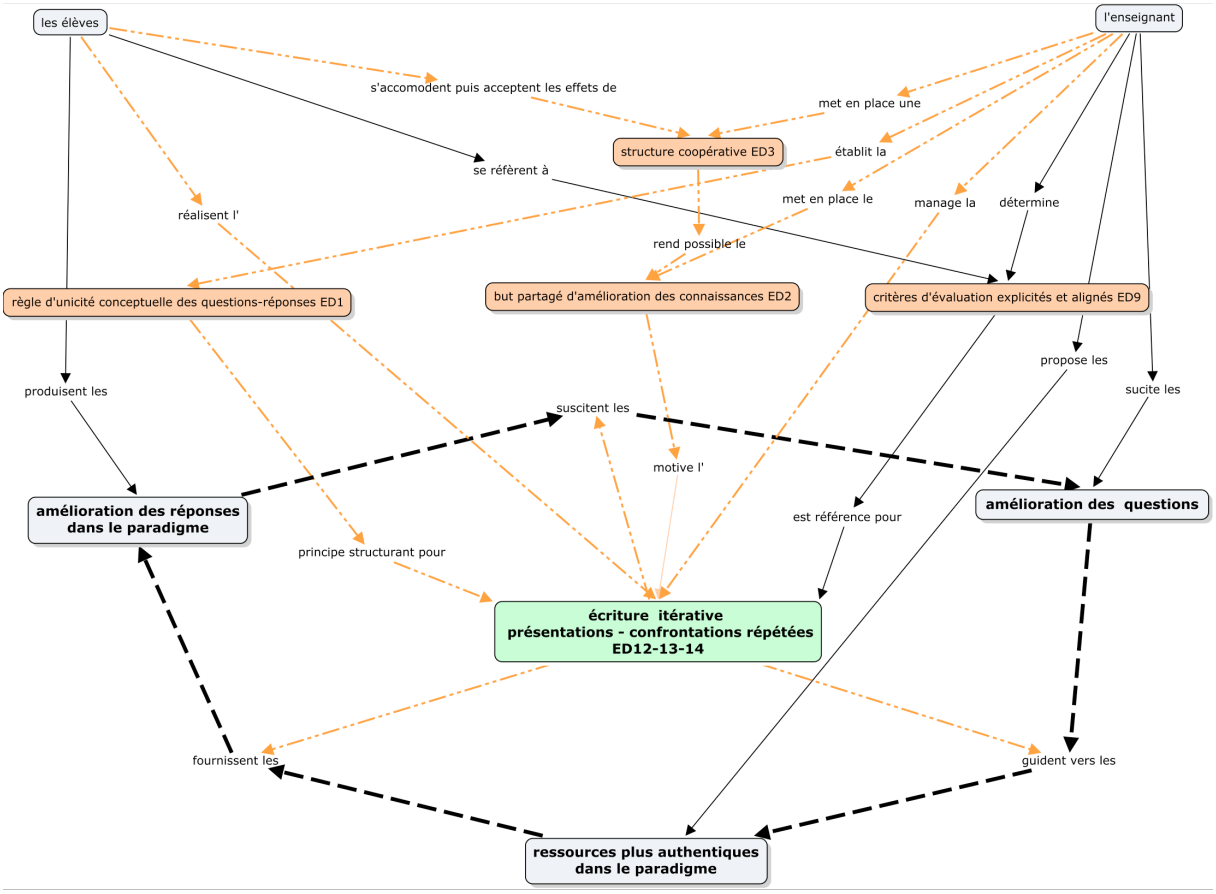



Figure 18 : Relations entre les principaux concepts de conditions, de climat et les effets éducatifs notamment concernant le guidage de l'IBL. En saumon et vert, les conditions principales, en bleu pâle les variables principales influençant le cycle d'investigation. Cette figure est reproduite en section 10.11 Annexe : Report des figures en pleine page (p. 390)

Le guidage des apprentissages est donc manifesté par les questions qui guident le cycle de l'investigation. Cependant le guidage nécessaire de l'investigation est en tension avec la responsabilité laissée aux élèves de leurs questions qui fonde l'investigation. Si les questions sont dévolues aux élèves, on ne peut pas les prescrire, mais si l'enseignant ne détermine pas le choix des questions, il paraît difficile de garantir que l'investigation couvre le champ curriculaire et approfondisse suffisamment les concepts biologiques. Si et comment ce paradoxe se résout fait l'objet d'une question : *Q2B Comment assurer le contrôle de l'investigation tout en respectant l'autonomie des élèves ?*

Les concepts principaux de ce deuxième nœud seront repris dans une carte des conjectures (cf. Figure 19).

Dans ce deuxième nœud, un concept occupe une place cruciale : l'autonomie dans la validation. Nous considérons que la connaissance scientifique est une manière de valider et donc une connaissance est d'autant plus scientifique qu'elle est validée par soi-même (et en référence à des données discutées et mises en perspective). Alors que l'école transmet habituellement des connaissances validées par l'autorité scientifique de l'enseignant, le dispositif étudié cherche à développer l'autonomie des élèves dans la validation de leurs connaissances. Cela conduit à une question de recherche : *Q2C Comment l'autonomie dans la validation des connaissances scientifiques est-elle développée ?*

Dans un environnement infodense, les stratégies de sélection des ressources sont une étape clé de la construction de connaissances, d'autre part, une connaissance est scientifique dans la mesure où elle est issue de sources identifiées (et mises en perspective et ses liens avec l'affirmation discutées,), aussi nous avons voulu analyser les liens entre les usages des ressources et les connaissances produites. C'est la question *Q2E : Comment les ressources sont-elles utilisées pour développer l'approfondissement conceptuel ?*

Une question qui n'apparaît pas clairement dans ces cartes conceptuelles concerne les interventions de l'enseignant. Comme l'enseignant est lui-même un des individus personnellement impliqués dans le dispositif son action n'a été traitée qu'indirectement – à travers les rôles qu'il assume – pour mettre en évidence le transfert de ces rôles aux élèves afin de les rendre autonomes. Cette autonomie rend d'autant plus nécessaire que l'autorité pédagogique reste fermement sous la responsabilité de l'enseignant. Il assume un regard d'ensemble, la mise en place du dispositif et sa régulation et en particulier, il pilote les phases en prescrivant des activités aux moments jugés opportuns. Cela nous amène à formuler la question de recherche *Q2D Quelles interventions de l'enseignant soutiennent et incitent à assumer les rôles permettant l'apprentissage dans les phases successives de l'investigation ?*

### 5.3.4 **Une carte des conjectures qui conduisent à l'apprentissage scientifique**

Les concepts principaux du deuxième nœud – qui conduisent les élèves à des connaissances scientifiques – sont nombreux et fortement liés. Aussi pour faciliter leur lecture, nous avons établi, en nous inspirant de (Sandoval, 2004), une *conjecture map*, une synthèse des liens entre la théorie, le dispositif et les effets éducatifs. Cette carte explicite les liens principaux entre une sélection de la théorie qui fonde les choix centraux (conjectures) du dispositif et ces conjectures, puis les relie à la manière dont elles sont implémentées et enfin aux effets éducatifs attendus. La carte illustrée en Figure 19 synthétise les liens conceptuels qui conduisent au développement de connaissances scientifiques chez les élèves.

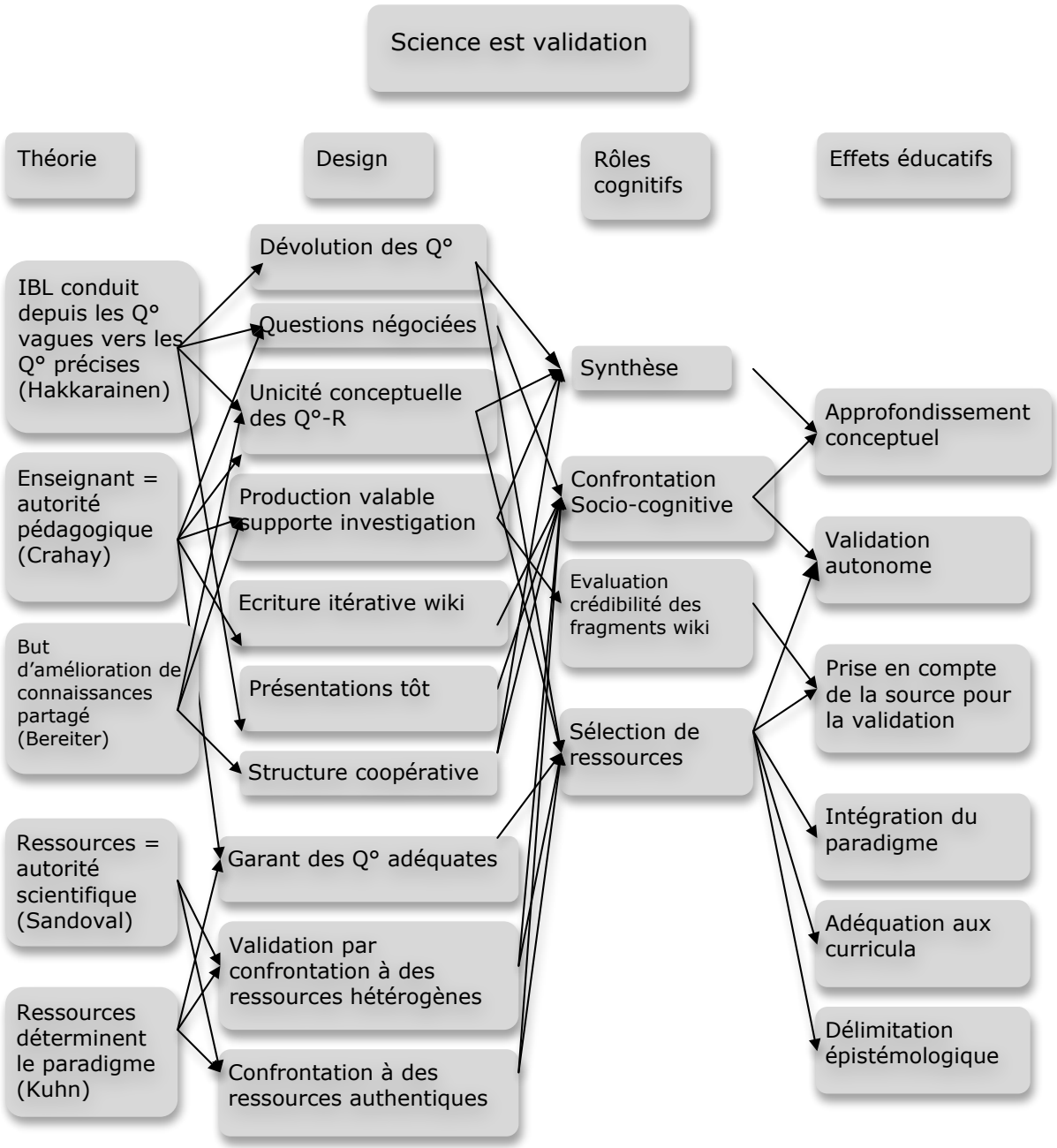



Figure 19 : Carte des conjectures abrégées. Les principales relations entre les fondements théoriques, les éléments de design, les rôles, et les effets éducatifs qui conduisent au développement de connaissances scientifiques chez les élèves.

Ces conjectures ont été construites dans le cadrage où elles ont été explicitement formulées (CJ1 à n). Leur incarnation dans le dispositif sous forme d'éléments de design (ED1 à n) permet l'analyse en rapport avec leurs effets éducatifs pour déterminer leur pertinence et leur domaine de validité selon des méthodologies qui seront discutées plus bas, après leur énumération.

*La description du dispositif*

Comme une part importante de l'analyse s'effectue sur un dispositif incarnant un design IBL, sa description est la première étape de l'analyse. Forts de la conceptualisation issue de la Q0, nous pouvons aborder la manière de construire un tel dispositif. Bien que ce soit formellement plutôt un problème d'ingénierie pédagogique nous l'avons nommée première question de recherche

pour la ramener dans le plan de cette thèse. Nous avons nommé Q1A la description du dispositif développé dans ce projet dont l'étude permettra les questions de recherche suivantes : *Q1A : Comment est organisé le dispositif d'investigation IBL étudié ?*

Une fois décrite, la validité de ce dispositif – sa capacité à conduire les élèves vers des connaissances adéquates sur le curriculaire et par rapport au paradigme de la science – doit être établie suffisamment pour que les autres questions aient quelque intérêt. Rappelons qu'il ne s'agit pas d'une comparaison rigoureuse avec des pratiques de référence selon des procédures standardisées (on sait combien ces comparaisons sont difficiles et discutables), mais seulement de montrer que le dispositif est assez efficace pour donner du sens à l'analyse qui suit.

Cela conduit à une (sous) question : *Dans quelle mesure les connaissances acquises dans le dispositif étudié sont-elles scientifiques, adéquates dans l'institution et par rapport au paradigme de la biologie ?*

### 5.3.5 **Liste des conjectures et éléments de design**

Avant de discuter le dispositif qui les incarne, nous présentons ci-dessous, dans un ordre et avec des numéros arbitraires, une liste rassemblant les principales conjectures (= CJ) issues du cadre théorique qui fondent le dispositif ainsi que leur incarnation sous forme d'éléments de design (= ED) définissant des caractéristiques significatives pour la recherche. Celles qui sont validées conduiront, dans la conclusion, à des recommandation de design (= RD) dont la portée et les limites seront discutées.

Ces conjectures constituent une charnière importante entre le cadre théorique qui le fonde et les questions de recherche puisque la recherche s'articule autour de la définition et de l'affinage de ces conjectures incarnées dans le dispositif (Sandoval, 2004). Elles sont l'expression d'hypothèses sur des effets éducatifs attendus et occupent une place particulière comme outil de conceptualisation et d'analyse puisqu'elles incarnent, dans le dispositif, les principales recommandations formant le design que ce projet fait évoluer dans la démarche DBR.

Pour faciliter la lecture, ils sont également reportés en Annexe 10.9 où une page dépliante pourra être maintenue visible tout en lisant le document. La forme abrégée y est présentée à la suite d'une description plus élaborée. Dans le texte, une simple référence à l'abréviation numérotée ou à la forme abrégée aurait impliqué un renvoi permanent lors de la lecture à la liste. Nous avons choisi par souci de précision l'affichage dans le texte de la forme complète, même si cela rallonge la lecture.

*Liste des conjectures du dispositif étudié, (implémentation finale, 2010)*

*CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources*

*CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme*

*CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions*

*CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage*

*ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes*

*ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté*

*ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives*

*ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant)*

*ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves*

*ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré*

*ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves*

*ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables*

*ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves*

*ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance*

*ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur*

*ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel*

*ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé)*

*ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances*

*ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène*

*ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs*

*ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe*

*ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis*

*ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages*

*ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel*

*ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes*

*ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité*

*ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte*

*ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation*

*ED25 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs*

*ED26 : L'autorité pédagogique peut être inscrite dans la structure du design afin de délimiter un cadre qui délimite mais donne la liberté aux élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle*

L'ensemble de ces conjectures incarnées dans des éléments de design décrit les grandes lignes d'un dispositif qui devrait permettre la construction de connaissances scientifiques approfondies. Ainsi la question de recherche Q1 vérifiera si et dans quelle mesure un tel dispositif peut conduire les élèves vers des connaissances adéquates dans l'institution et scientifiquement fondées. Les résultats à cette question valideront l'analyse du design incarné dans le dispositif étudié.

## 5.4 Question de recherche Q1 : Comment réaliser un dispositif d'investigation à l'année assez efficace pour que les élèves d'année terminale y acquièrent des connaissances pertinentes aux yeux de l'institution ?

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature ou ailleurs de descriptions analysées de dispositifs d'investigation visant à développer les connaissances scientifiquement étayées (au sens défini plus haut) en terminale de biologie, capables d'affronter des environnements infodenses, adaptés à la situation locale et au contexte curriculaire. Aussi, pour explorer comment les conjectures issues de la littérature pourraient être incarnées et leurs effets explorés, nous avons d'abord dû construire un dispositif radicalement nouveau mais suffisamment crédible pour assumer l'enseignement en année terminale pour la discipline principale (OS = Option spécifique : c'est-à-dire qu'ils ont choisi Chimie - Biologie comme leur branche d'étude approfondie) avec des classes entières. Ainsi, au cours de ce projet éducatif élaboré sur une dizaine d'années, nous avons d'abord développé en parallèle avec une réflexion théorique, un dispositif d'investigation avec des classes qui a pu être de plus en plus formalisé. Comment est construit un tel dispositif représente notre première question de recherche.

- Q1A : *Comment est organisé le dispositif d'investigation IBL étudié ?*

La première partie de nos résultats est donc la description – en rapport avec les conjectures qui les fondent – des principales caractéristiques du dispositif et de leur articulation dans sa forme finale après sept implémentations bien documentées et quelques autres avec des classes d'autres types et degrés qui ont permis de concevoir la première implémentation du dispositif dans une forme déjà relativement aboutie.

Dans la mesure où nous considérons que la connaissance scientifique implique une validation par l'élève de ses idées, que ce processus se fait par confrontation socio-cognitive (interne et avec les idées d'autres) dans des productions guidées par leurs questions d'investigation, notre première question de recherche est la suivante ; « est-il possible d'élaborer un dispositif où les connaissances sont construites dans ces interactions – donc assez radicalement différent des pratiques usuelles – dont l'efficacité soit suffisamment démontrée pour qu'on puisse y confier l'apprentissage des élèves en année de maturité pour une branche importante en vue de leur avenir universitaire ?».

Dans une deuxième phase plus analytique, les observations et les traces produites dans et autour des implémentations successives de ce dispositif nous ont permis d'étudier les conjectures en observant leurs effets dans le dispositif et en tentant de disséquer les causes. Ce sera notre deuxième question de recherche et ses sous-questions.

- Q1B : *Dans quelle mesure les connaissances acquises dans le dispositif étudié sont-elles scientifiques, adéquates dans l'institution et par rapport au paradigme de la biologie ?*

Dans la mesure où cette recherche s'appuie sur un dispositif et que les analyses des relations entre les variables observées vont fonder une réflexion sur l'investigation scientifique dans l'IBL, une analyse lucide de la nature des savoirs et des connaissances produits par ce dispositif justifie et détermine la portée des autres analyses. Il s'agit en particulier d'établir l'adéquation des connaissances des élèves d'une part au paradigme scientifique de la biologie actuelle, d'autre part aux plans d'étude en vigueur dans les écoles concernées. Il s'agit aussi de tenter d'évaluer la qualité des savoirs et des connaissances par rapport aux définitions de ces concepts élaborés plus haut.

### 5.4.1 **Méthodologies pour la question Q1B**

Afin d'établir l'efficacité comparée d'un dispositif, il serait indispensable de chercher des formes standardisées d'évaluation des connaissances des élèves, ce qui pose la question d'en trouver qui seraient pertinentes, adaptées au contexte curriculaire et validées. Or cette recherche ne vise pas à établir une comparaison, ni à démontrer que le design étudié serait *meilleur* (meilleur que quoi ? et sur quels critères… on sait la difficulté de cette question). Dans cette question Q1B, nous nous contenterons d'établir si le dispositif est suffisamment bon pour valider l'analyse des conjectures qui y sont incarnées. C'est-à-dire vérifier que les élèves y développent des connaissances adéquates selon les critères de l'institution, pertinentes dans le paradigme courant de la biologie, et vérifier dans quelle mesure elles sont scientifiques au sens décrit dans le cadrage théorique.

Les résultats aux examens, les *notes* sont sans doute des facteurs importants du jugement par les élèves et les autorités scolaires du succès d'un dispositif d'enseignement. Nous ne les avons pas pris en compte dans les données pour cette question car ils ne sont pas standardisés et sont autant des interventions pédagogiques que des mesures. Il n'y a pas d'examen standardisé pour ces élèves dans le canton de Genève, chaque enseignant produit ses propres examens, et parfois ils sont établis entre collègues d'un même établissement. Un expert de l'université fonctionne comme juré pour les examens finaux, mais les personnes choisies changent d'année en année, n'ont pas le même statut (ce peut être un professeur ou un assistant) et n'utilisent pas de critères communs. Aussi, un expert plus spécifique a été recherché pour obtenir un avis externe afin de juger si les savoirs que les élèves produisent sont valable selon les critères de la profession (conformes à ce que les enseignants genevois considèrent comme adéquat pour ce degré et cette option) et dans le paradigme scientifique de la biologie.

Un docteur (PhD) en immunologie (c'est ce chapitre qui est traité à cette période de l'année dans les classes étudiées) et enseignant expérimenté – il occupe la responsabilité de doyen dans une école du secondaire genevois – a été choisi. Nous lui avons demandé d'évaluer un échantillonnage de 5 productions wiki – pour le sous-thème de l'immunité humorale – dans les versions finales des années testées : 2006, 2008, 2009, 2010, ainsi que le même document en début d'année 2007-08. Ce sont les mêmes pages sur lesquelles les autres analyses de nombre de mots, de questions et de complexité épistémique ont porté.

Nous lui avons demandé de considérer ces 5 productions comme des documents d'élève et non de l'enseignant, et comme un document produit pour aider la préparation d'un examen.

Nous lui avons demandé d'analyser ces documents selon 5 critères : adéquation du contenu aux plans d'étude, adéquation du niveau de formulation, qualité des explications (pas seulement description, mais mécanismes élaborés), exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus, et si globalement le document constitue une bonne préparation pour examen de terminale 4 OS. Il a établi un rapport qui figure en annexe 10.3 page 368.

Nous avons d'abord examiné si le dispositif permet aux élèves de construire des connaissances et dans quelle mesure ces connaissances ont de l'épaisseur scientifique au sens décrit plus haut et si elles sont conformes au paradigme scientifique actuel. Pour établir la construction de connaissances, nous avons recherché parmi les données disponibles des variables intermédiaires qui reflèteraient cette construction.

- Les textes dans les wikis comme reflet des connaissances.
- L'adéquation de ces textes produits par les élèves aux curricula et aux exigences de l'institution.
- Les réponses au questionnaire de fin d'année, l'implication des élèves et comme indices pour la variable de climat : but partagé d'amélioration de connaissances.

- Les réponses au questionnaire de fin d'année et post-secondaire où les représentations des élèves sur les productions et les apprentissages sont des indices sur les apprentissages.
- Les indices de confrontations socio-cognitives dans les textes, les exposés, les choix de ressources renseignent sur l'épaisseur scientifique des connaissances.
- Le jugement d'un expert nous renseigne sur l'adéquation aux exigences curriculaires.

Le premier indicateur est la production de savoirs manifestés dans le wiki. Puisque les élèves produisent ces textes eux-mêmes en validant de manière de plus en plus autonome leur production de réponses aux questions d'investigation, la qualité des textes devrait être un indicateur de leurs connaissances. L'analyse de ces textes pour leur adéquation curriculaire et au paradigme scientifique devrait donner des indications pertinentes sur l'adéquation des *connaissances* des élèves.

Nous avons pris en compte d'autres variables intermédiaires en les triangulant : notamment les indices que les élèves poursuivent des buts d'apprentissage dans les productions et les exposés, sinon on pourrait objecter que les productions ne reflètent pas bien leurs connaissances. Nous avons discuté les représentations des élèves dans les questionnaires : elles concernent le rôle des exposés, des wikis, leur sentiment de fierté des productions ou des apprentissages et les perceptions métacognitives sur les stratégies d'apprentissage développées. Ceci nous a permis d'établir la poursuite ou non de buts de maitrise. En effet de tels buts valideraient l'analyse des textes comme reflet de leurs connaissances.

Nous avons discuté plus haut de quelle manière le rapport à l'exhaustivité et le type d'ouvrage prescrit sont liés aux pédagogies et aux postures enseignantes. Nous avons exploré les indices que les élèves sont effectivement capables de construire leurs connaissances à partir de ressources authentiques et souvent complexes. Ce serait un indice que le dispositif les rend effectivement capables de produire des connaissances et que ces connaissances seraient scientifiques, et d'intelligence informationnelle.

A propos de l'usage de ressources authentiques[11], dans la mesure où les connaissances sont issues d'ouvrages plus proches de la source des savoirs scientifiques, nous considérons qu'elles sont plus scientifiques et moins validées par l'autorité du maître. L'épaisseur métacognitive des connaissances est vraisemblablement étayée par la confrontation à des ressources authentiques parce que les sources, l'argumentation des liens entre les données et les affirmations y sont plus présentes. Le paradigme de la biologie y est plus manifeste. Aussi les indices montrant que les élèves se confrontent aux ressources authentiques pour en extraire des savoirs pertinents manifestés par oral et dans les productions wiki seront interprétés comme des indices d'épaisseur métacognitive et de scientificité de leurs connaissances. Ainsi nous avons choisi le rapport aux gros ouvrages scientifique comme variable intermédiaire reflétant les processus de validation scientifique des connaissances.

La complexité épistémique (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) – un indice important de l'adéquation au paradigme – sera mentionnée plus tard avec l'analyse des productions wiki dans le temps.

---

[11] Comme discuté plus haut, nous entendons par authentiques, des ressources *plus* proches des données et de la recherche en biologie que ce qui est habituellement proposé aux élèves comme les manuels scolaires et les polycopiés du maître.

### 5.4.2 Méthodes d'analyse de l'adéquation des savoirs produits au curriculum et au paradigme

Les résultats aux examens – non standardisés – ont été présentés en tant qu'indicateur reconnu par l'école, les parents et les élèves de la qualité des apprentissages et donc d'adéquation institutionnelle. La note maximale est 6, le seuil de suffisance est 4. La pondération de la discipline est forte (une insuffisance compte double) et la suffisance est exigée pour l'obtention du diplôme final de maturité. Nous avons indiqué la moyenne annuelle. Ces résultats ne sont pas disponibles pour d'autres classes et leur comparaison n'est pas possible. En effet les comparaisons entre enseignants et entre écoles soulèvent des questions très délicates politiquement, et scientifiquement. C'est un indicateur dont nous avons peu tenu compte hors de cette question institutionnelle.

Nous avons vu dans la section 5.4.1 (p. 155) qu'un expert a été mandaté pour juger de la qualité et l'adéquation des savoirs produits sur le plan institutionnel et paradigmatique. Son rapport fonde l'analyse de l'adéquation aux plans d'étude et programmes et complète la perception des jurés de la section de biologie de l'université aux examens. Les programmes et les plans d'étude ont été discutés et mis en rapport avec le paradigme de la biologie dans la section 2.1.12 (p. 18) et 4.2.8 (p. 77).

Nous avons aussi exploité les données des questionnaires administrés aux élèves plus tard, lorsqu'ils sont devenus étudiants à l'université : nous nous y réfèrerons ici comme « post-secondaire ». (cf. méthodologie section 5.5.7, (p. 167)). Les réponses à ce questionnaire donnent des indications sur l'ampleur et la durabilité des connaissances acquises ainsi que leur pertinence pour les études universitaires. Les réponses numériques aux questionnaires ont subi des analyses statistiques pour extraire des moyennes, des écarts-type. Les réponses texte libre ont été codées en catégories permettant la synthèse et la comparaison. Leur analyse renseigne sur leurs perceptions métacognitives, leur perception des stratégies d'apprentissage acquises et donne des indications sur la poursuite de buts de maitrise ou de compétence.

## 5.5 Question de recherche Q2 : Comment structurer et maintenir un contrat didactique pour l'investigation scientifique de type IBL ?

La question centrale de cette recherche s'articule autour du contrat didactique particulier qui rend possible les interactions entre le milieu et les élèves qui développent la connaissance scientifique. Nous étudierons les relations entre les variables de climat et les variables éducatives au sens de (A. Collins, et al., 2004). Les variables éducatives permettent – entre autres – de juger dans quelle mesure le dispositif produit des connaissances et si elles sont adéquates alors que les variables de climat déterminent le milieu auquel l'élève est confronté : elles découlent des règles et consignes de guidage, les ressources, les groupes et l'organisation du dispositif.

Nous avons donc étudié quatre questions qui explorent les interactions que le projet a mis en évidence comme les plus significatives entre et à l'intérieur de ces groupes de variables.

- *Q2A Comment conduire les élèves à se focaliser sur l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ?*
    - *Quelles sont les variables de climat et les variables éducatives qui permettent et étayent l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ? Comment interagissent-elles ?*

Une des variables de climat que la conceptualisation a mis en évidence et qui a joué un grand rôle dans la conception du dispositif est le but partagé de *knowledge improvement* (Scardamalia & Bereiter, 2006), soit une focalisation sur l'amélioration de la compréhension commune des idées, leur discussion épistémique, leur approfondissement, la croyance dans la capacité à produire des connaissances valables. Nous avons traduit cette variable de climat par

l'expression : « but d'amélioration de connaissances partagé ». Nous avons développé plus haut que ce climat favorise des apprentissages en profondeur qui mobilisent les conceptions des élèves et développe des connaissances qui ont de l'épaisseur métacognitive, qu'il permet le débat d'idées qui valide les connaissances scientifiques.

Il s'agit de chercher les signes d'une focalisation sur la production de connaissances par les élèves, en particulier sur l'amélioration en termes d'approfondissement conceptuel. Il s'agit également de chercher les signes d'une construction commune, dans une communauté d'apprenants (A. L. Brown, 1992) : la confrontation d'idées y est encouragée, les conflits socio-cognitifs régulés sur le plan épistémique (Buchs, et al., 2008), sur la base de l'interdépendance positive et de la responsabilité individuelle (Buchs, et al., sous presse).

Il s'agit donc de rechercher les traces de confrontations socio-cognitives, d'une focalisation des élèves sur la production plutôt que la reproduction de connaissances, d'existence fonctionnelle d'une communauté d'apprenants et de régulations épistémiques.

- *Q2B : Comment assurer le contrôle de l'investigation tout en respectant l'autonomie des élèves ?*
    - *Comment les questions se précisent-elles et convergent-elles vers celles compatibles avec le paradigme ?*
    - *Comment articuler le guidage des questions et la dévolution des questions ?*
    - *Comment les questions et les ressources guident-elles l'investigation ?*

Les questions sont au cœur de la recherche scientifique et orientent l'investigation. Nous avons vu qu'une question doit être construite dans un cadre conceptuel qui lui donne du sens et lui permet de jouer un rôle de guidage de l'investigation. Une difficulté est que l'investigation nécessite que l'élève *ait* les bonnes questions, et qu'elles apparaissent rarement spontanément. Nous avons discuté qu'il faut prévoir dans le dispositif un processus organisé par lequel les élèves construisent leurs questions en même temps que leurs connaissances s'approfondissent. Ce guidage nécessaire est cependant en tension avec l'investigation et la structure coopérative qui exigent que la responsabilité de la production d'une part des savoirs (leurs questions et leurs réponses) soit dévolue aux élèves. Si les questions sont dévolues aux élèves, on ne peut pas les prescrire mais si l'enseignant ne détermine pas le choix des questions, l'investigation risque de passer à coté des concepts complexes qui sont au cœur de la biologie. L'explication des mécanismes sous-jacents aux phénomènes étudiés sont les « bonnes » questions dans le paradigme actuel. Ces questions sont implicites dans les réponses que les ressources authentiques fournissent, mais les questions triviales – celles que les néophytes posent au début d'une investigation – ne conduisent pas automatiquement vers de telles ressources, elles risquent plutôt de conduire vers des ressources aisément disponibles qui suscitent des questions simplement descriptives ou hors du paradigme de la biologie. L'investigation ne produit pas automatiquement des connaissances approfondies et pertinentes et l'approfondissement conceptuel qui fonde notre conjecture a peu de chance de se réaliser spontanément.

L'enjeu est de déterminer une forme de guidage efficace qui laisse la responsabilité des questions à l'élève.

- *Q2C : Comment l'autonomie dans la validation des connaissances scientifiques est-elle développée ?*

La science est une manière de valider les connaissances et donc la validation devrait être progressivement dévolue aux élèves si l'on veut qu'ils apprennent à faire de la science.

Le dispositif étudié est fondamentalement architecturé autour de cette idée, notamment avec le refus de l'enseignant de donner des réponses obligeant les élèves à aller chercher les réponses

dans des ressources, avec l'exigence de les écrire dans un espace partagé élaborant une production importante pour le groupe, puis à les défendre devant les pairs. Nous avons conjecturé qu'il fallait confronter les élèves à des données de qualité variable, ancrer les apprentissages dans une production qui fait du sens pour eux et qui oblige à sélectionner, expliciter et prévoir des opportunités de confrontation socio-cognitives pour développer cette validation autonome qui constitue l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves. Cette question cherche à établir comment cette dévolution progressive peut se réaliser et si elle conduit à une épaisseur scientifique des connaissances.

- *Q2D : Quelles interventions de l'enseignant soutiennent et activent les rôles dans les phases de l'investigation ?*

Comment les différents éléments du dispositif s'articulent pour permettre aux élèves de développer l'approfondissement conceptuel ? Nous chercherons en particulier comment la succession des différentes activités permet les phases nécessaires au développement des connaissances, comment les élèves font face à l'abondance des ressources et comment le rapport aux citations reflète leur rapport aux savoirs.

Nous avons vu que la connaissance peut résulter de l'investigation si l'apprenant s'approprie une question qu'il a comprise, si il se fait une représentation de son rôle dans la tâche qui mobilise les processus cognitifs permettant le changement conceptuel et l'approfondissement, si il est confronté à des ressources dans le paradigme correspondant, et si il en fait une synthèse dans un document qui fait du sens pour lui. L'institutionnalisation devrait permettre la stabilisation du vocabulaire, la décontextualisation et la généralisation. Ces phases ne s'articulent pas spontanément et la succession des rôles que les élèves doivent endosser nécessite une scénarisation et des indicateurs de l'état de l'investigation pour susciter les changements de phases en provoquant la succession des activités. On devrait donc pouvoir distinguer des moments cognitifs différents, en examinant les variables reflétant les connaissances des élèves dans leurs productions. Nous avons cherché les liens entre ces variables et les actions de l'enseignant, notamment les transitions d'activités. Nous avons aussi cherché des liens avec les variables de climat afin de déterminer des indicateurs de l'état cognitif des élèves permettant la planification « cognitiviste » (Altet, 1993) du moment de passage d'une activité à la suivante. Il s'agit de proposer aux participants – quand ils sont prêts à en assumer la responsabilité – les rôles qui permettent l'étape suivante d'approfondissement de leurs apprentissages.

- *Q2E : Comment les ressources s'articulent-elles avec les discussions en classe, le feed-back de l'enseignant pour développer l'approfondissement conceptuel ?*

Nous avons défini la science comme une manière de valider les connaissances, basée sur l'argumentation des liens entre les données et les affirmations en référence aux hypothèses et modèles, il en découle que la nature et l'authenticité des ressources auxquelles les élèves sont confrontés et leur authenticité sont des paramètres importants des milieux auxquels les élèves sont confrontés pour apprendre. Nous avons conjecturé que les élèves devraient être confrontés à des ressources (expériences réalisées eux-mêmes ou rapportées, discussions et interprétation des données, etc.) aussi authentiques[12] que possible : (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources). Nous avons aussi conjecturé que les connaissances sont validées et acquièrent une épaisseur scientifique par la confrontation d'idées intra personnelle, interpersonnelle dans des conflits sociocognitifs dont la régulation doit rester épistémiques. Cela détermine la conjecture CJ5 :

[12] Rappelons que l'authenticité est ici définie en rapport avec le paradigme de la biologie et que plus la proximité des ressources avec les données expérimentales est grande plus nous parlons de documents authentiques.

Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage, et ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel, notamment lors des présentations (activité III). Cela détermine les éléments de design ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe, mais aussi la nature des feedback de l'enseignant lors des présentations (activité III), dans les textes : ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes.

La question cruciale des critères selon lesquels les informations sont retenues et donc comment l'investigation est focalisée sur les questions du paradigme et du curriculum a été discutée dans la question Q2A. Nous avons déjà discuté le rôle crucial de l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves et nous allons ici discuter plus particulièrement les effets de l'hétérogénéité de ressources. En effet, la validation n'a pas de sens dans un milieu où le maître a prescrit uniquement des ressources de qualité, comme c'est généralement le cas. Pour que les élèves développent des connaissances scientifiques, c'est-à-dire consciemment validées, il est indispensable que la qualité des ressources pour les construire soit incertaine : ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène. La conscience des sources est un paramètre de la validation scientifique qui n'est pas habituellement développé ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte. Le contexte de surabondance d'informations – l'infobésité – qui est le point de départ de notre recherche impose la nécessité de développer des stratégies pour faire face à l'abondance des ressources. Est-ce que effectivement les élèves développent des stratégies de sélection des ressources pertinentes au paradigme ? Dans quelle mesure ont-ils pris en compte les sources dans leur processus de validation ?

### 5.5.1 **Méthodologies pour la question Q2**

Globalement pour cette question, l'approche méthodologique fait appel à un éventail de méthodes adaptées aux questions et aux données à étudier *concurrent mixed methods design* (Tashakkori & Teddlie, 2003). Il s'agit d'une triangulation qui vise « à augmenter la pertinence […] par la prise en compte de la complexité du terrain… » (Paquay, Crahay, & De Ketele, 2006 p. 72).

La question Q2 « *Comment structurer et maintenir un contrat didactique pour l'investigation scientifique de type IBL ? »* porte sur la production de connaissances scientifiques sur les modes de validation, et les variables de climat.

Les résultats à la Q2 et ses sous-questions ont été déterminés à partir de l'analyse qualitative des enregistrements de toutes les versions dans les wiki, par recoupements avec les journaux des observateurs, et avec les questionnaires de fin d'année et post-secondaire. Les données des entrevues, des productions et celles des observations ont été analysées par des méthodes qualitatives (Miles & Huberman, 1994) de réduction et de synthèse. Pour chaque sous-question les méthodes détaillées sont indiquées ci-dessous.

Etant donné que dans le DBR la conceptualisation du design est un processus continu, nous avons choisi de nous référer à l'état du design fin 2010 et de sa conceptualisation figée à ce moment-là. Nous inscrivons donc l'observation et l'analyse dans le cadre conceptuel de la fin du projet. Cependant certains des résultats les plus intéressants sont des règles de design qui ont été présentées et construites dans le cadre conceptuel issu de la littérature et des implémentations précédentes. Par exemple, la règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses (ED1) est issue de l'observation des premières implémentations du dispositif, elle s'est approfondie avec la

littérature sur l'affinage conceptuel pour constituer un concept important dans le cadrage. Dans le plan ingénierie pédagogique c'est aussi un des résultats importants de cette recherche. Ce dispositif s'appuie sur un espace d'écriture itérative et de confrontation supporté par un wiki (un espace d'écriture dans lequel un même texte peut être élaboré collaborativement à distance par les élèves et les enseignants Cf. section 4.4.8 (p. 126)). L'analyse s'appuie sur l'enregistrement automatique des versions successives d'écriture sur le serveur wiki. Afin d'étudier la nature des savoirs manifestés dans les productions, nous avons analysé une sélection des enregistrements wiki pour l'ampleur des textes, le nombre de questions, leur filiation, la complexité épistémique (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) selon l'échelle à quatre niveaux de Hakkarainen) des réponses, leur adéquation au paradigme scientifique et aux plans d'études. L'analyse a exploité ces enregistrements pour des comparaisons dans trois temporalités (cf. Figure 21) i) stratigraphique (comparaison de versions plus ou moins élaborées du même texte, ii) *yearlong* annuelle (comparaison des productions au début et à la fin de l'année), et iii) pluriannuelle (comparaison des implémentations au cours des années). Nous avons ainsi discuté les effets éducatifs des modifications du dispositif d'apprentissage dans ses implémentations successives. Des questionnaires ont été administré aux élèves durant l'activité et plus tard, lorsqu'ils sont devenus étudiants à l'université : nous nous y réfèrerons ici comme « post-secondaire ». Les réponses numériques aux questionnaires ont subi des analyses statistiques pour extraire des moyennes, des corrélations et les facteurs de la variance. Comme pour la Q1, les réponses texte libre ont été codées en catégories permettant la synthèse et la comparaison. Dans certains cas ces catégories ont subi des analyses statistiques pour extraire des moyennes et des écarts-type.

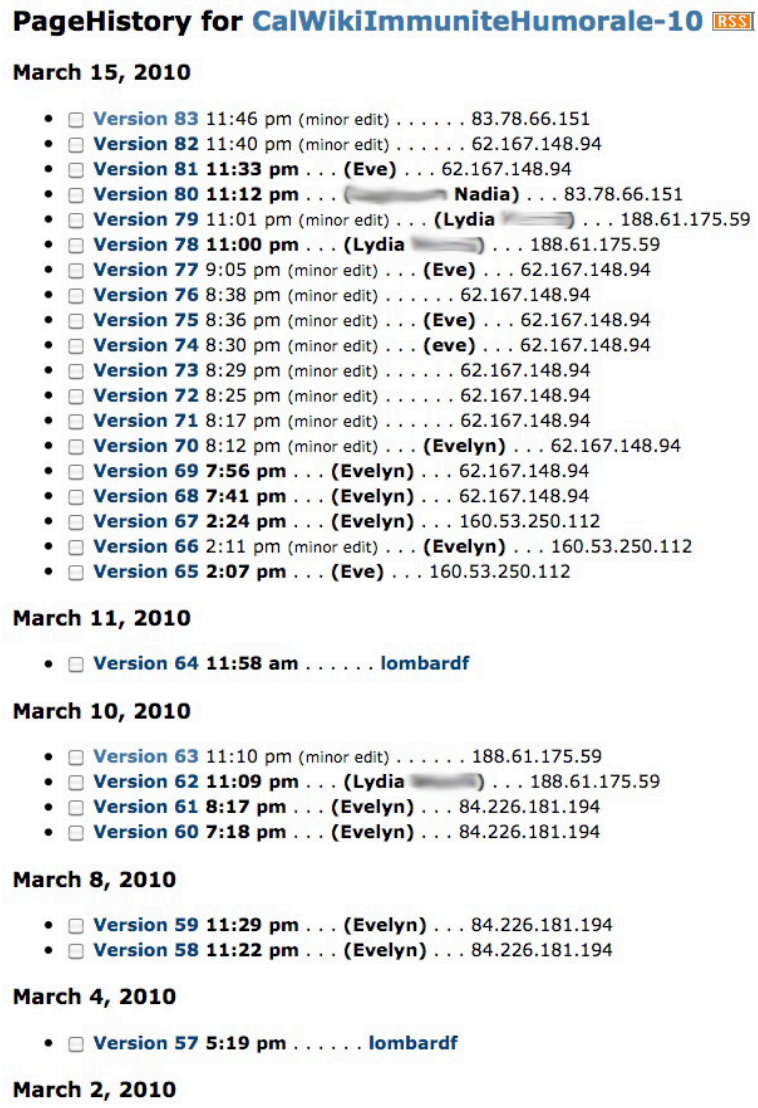
### 5.5.2 Les données : population, contexte curriculaire, corpus d'enregistrement wiki, questionnaires, journaux d'observations

L'étude a porté principalement sur 7 classes de biologie OS (Option Spécifique : c'est-à-dire qu'ils ont choisi Chimie - Biologie comme leur branche d'étude approfondie) de niveau maturité : 2003-4, à 2009-10. Ce type de classe a un effectif réduit : maximum 16 élèves de 19 ans environ. Le cours dispose de 4 périodes de 45 minutes par semaine. L'année se compose de moins de trente semaines effectives pour l'enseignement (déduction faite des camps, journées à thème, examens, vacances, etc.) et le dispositif a été implémenté durant un peu plus d'une vingtaine de semaines selon les années. Elle a aussi pris en compte des résultats dans des dispositifs très proches en classe de 3ème (environ 18ans) OS et 2ème OS (environ 17ans), ainsi qu'une classe de 2DF (environ 17 ans) pour lesquels la biologie est une discipline secondaire.

Le programme de 4ème OS prévoit 3 chapitres dans cet établissement (Collège Calvin à Genève) : la génétique moléculaire de septembre à janvier, l'immunologie depuis fin janvier, jusqu'au début du mois de mars, soit 3-4 semaines effectives (c'est sur ce chapitre qu'une part importante des analyses ont porté), puis l'évolution jusqu'à mi-mai où les examens finaux commencent. Chaque chapitre a été découpé en 4 sous-thèmes attribués à 4 groupes d'investigation de 3-4 élèves produisant en commun une des 4 *pages* wiki : chacun de ces documents atteint en moyenne 3384 mots, s'imprime sur 15 pages environ avec les illustrations qui sera mutualisé lors de présentations aux pairs.

Les wikis enregistrent automatiquement toutes les versions successives d'un même texte que les élèves produisent, chaque document peut donc être vu comme la strate la plus récente d'une série stratigraphique qui retrace toutes les versions successives élaborées par les élèves et l'enseignant aussi bien en classe qu'à partir du domicile ou des salles de travail comme la bibliothèque (en général entre 50 et 100 enregistrements correspondant à 30 versions réellement différentes, les révisions majeures).

La recherche a donc accès à une partie de l'activité scolaire des élèves en dehors du cadre physique de l'école. Elle peut représenter une part importante de l'activité d'apprentissage dans un dispositif hybride d'investigation qui échapperait à une observation en classe seulement.



**PageHistory for CalWikiImmuniteHumorale-10** RSS

**March 15, 2010**

- Version 83 11:46 pm (minor edit) . . . . . 83.78.66.151
- **Version 82** 11:40 pm (minor edit) . . . . . 62.167.148.94
- **Version 81 11:33 pm** . . . **(Eve)** . . . 62.167.148.94
- **Version 80 11:12 pm** . . . ([redacted] **Nadia)** . . . 83.78.66.151
- **Version 79** 11:01 pm (minor edit) . . . **(Lydia** [redacted]**)** . . . 188.61.175.59
- **Version 78 11:00 pm** . . . **(Lydia** [redacted]**)** . . . 188.61.175.59
- **Version 77** 9:05 pm (minor edit) . . . **(Eve)** . . . 62.167.148.94
- **Version 76** 8:38 pm (minor edit) . . . . . 62.167.148.94
- **Version 75** 8:36 pm (minor edit) . . . **(Eve)** . . . 62.167.148.94
- **Version 74** 8:30 pm (minor edit) . . . **(eve)** . . . 62.167.148.94
- **Version 73** 8:29 pm (minor edit) . . . . . 62.167.148.94
- **Version 72** 8:25 pm (minor edit) . . . . . 62.167.148.94
- **Version 71** 8:17 pm (minor edit) . . . . . 62.167.148.94
- **Version 70** 8:12 pm (minor edit) . . . **(Evelyn)** . . . 62.167.148.94
- **Version 69 7:56 pm** . . . **(Evelyn)** . . . 62.167.148.94
- **Version 68 7:41 pm** . . . **(Evelyn)** . . . 62.167.148.94
- **Version 67 2:24 pm** . . . **(Evelyn)** . . . 160.53.250.112
- **Version 66** 2:11 pm (minor edit) . . . **(Evelyn)** . . . 160.53.250.112
- **Version 65 2:07 pm** . . . **(Eve)** . . . 160.53.250.112

**March 11, 2010**

- **Version 64 11:58 am** . . . . . **lombardf**

**March 10, 2010**

- Version 63 11:10 pm (minor edit) . . . . . 188.61.175.59
- **Version 62 11:09 pm** . . . **(Lydia** [redacted]**)** . . . 188.61.175.59
- **Version 61 8:17 pm** . . . **(Evelyn)** . . . 84.226.181.194
- **Version 60 7:18 pm** . . . **(Evelyn)** . . . 84.226.181.194

**March 8, 2010**

- **Version 59 11:29 pm** . . . **(Evelyn)** . . . 84.226.181.194
- **Version 58 11:22 pm** . . . **(Evelyn)** . . . 84.226.181.194

**March 4, 2010**

- **Version 57 5:19 pm** . . . . . **lombardf**

**March 2, 2010**

Figure 20 : Un exemple d'extrait d'historique : pour chaque révision, les dates et auteurs sont enregistrés. La comparaison de deux versions est facilitée : cocher les cases correspondantes produit un texte qui met en évidence en couleur les apports, les suppression et les différences. On voit d'un coup d'œil que seules deux élèves ont contribué à ce travail dans la période illustrée.

Ces enregistrements représentent donc un corpus considérable de données très pertinentes à nos questions. Nous disposons donc de 2002 à 2010 de 277 documents wiki où les textes se construisent progressivement atteignant jusqu'à 3500 mots, avec pour chacun un historique (perspective stratigraphique) de 20 à 30 versions majeures et une centaine de sauvegardes de travail. Une grossière estimation indique que nous disposons dans l'historique de ce wiki d'un corpus de 5 à 10 millions de mots produits principalement par les élèves. On peut relever que tous ces textes ont été supervisés par l'enseignant et que le dispositif exige donc de sa part une intense capacité de lecture puisque une seule classe produit largement plus d'un million de mots en une année et qu'un plein temps représente 6 à 10 classes.

- Année 2002 (2 OS) 26 documents d'investigation
- Année 2003 (3OS) 30 documents d'investigation
- Année 2004 (3OS) 50 documents d'investigation
- Année 2005 (3DF) 10 documents d'investigation
- Année 2006 39 documents d'investigation
- Année 2007 40 documents d'investigation
- Année 2008 37 documents d'investigation
- Année 2009 26 documents d'investigation
- Année 2010 29 documents d'investigation

Face à une telle abondance, une sélection de documents wiki a été analysée : elle compare le début de l'année et la fin d'un dispositif IBL dans son implémentation 2008 et plusieurs implémentations du dispositif entre 2006 et 2010.

Des questionnaires « de fin d'année » ont été proposés aux élèves en fin d'IBL (mars-avril) dès l'année 2006, avec une intention double : comme outil pédagogique destiné à développer la métacognition, à institutionnaliser les apprentissages de stratégies d'intelligence informationnelle et d'apprentissage, mais aussi progressivement afin d'obtenir des données pour la recherche.

Un questionnaire a été envoyé par e-mail aux étudiants environ un an après la fin de cet enseignement IBL, au printemps suivant : la plupart étaient en première année d'université. Ce questionnaire nommé « post-secondaire », portait sur leurs perceptions de la qualité des apprentissages, leur pertinence à leurs études et sur l'efficacité des stratégies développées.

Les experts de l'université qui forment le jury des examens de maturité ont fourni des appréciations sur le niveau des élèves après le passage des examens.

Nous avons vu dans la section 5.4.1 (p. 155) qu'un expert a été mandaté pour juger de la qualité et l'adéquation des savoirs produits sur le plan institutionnel et paradigmatique.

### 5.5.3 **Temporalité des analyses**

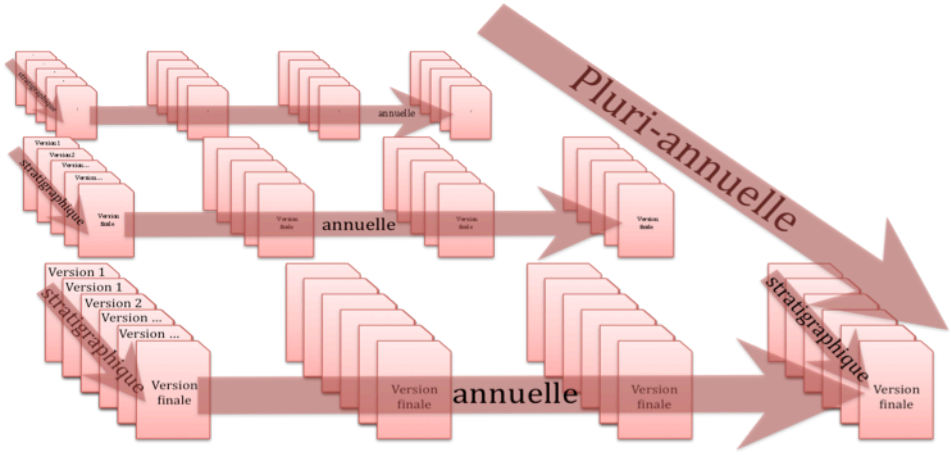



Figure 21 : Temporalités de l'analyse : stratigraphique, yearlong (annuelle) et pluriannuelle

L'analyse a porté sur trois dimensions temporelles : i) l'analyse des versions successives d'un même document wiki au cours d'une investigation sur quelques semaines que nous appellerons analyse *stratigraphique* par analogie avec l'étude de l'évolution à travers l'étude des traces enregistrées dans les couches successives. ii) l'analyse des données produites au cours d'une année avec un groupe-classe portera le terme d'analyse *yearlong* (annuelle pourrait être compris dans le sens d'une répétition annuelle aussi). iii) l'analyse des données issues de plusieurs années en vue de comparer l'évolution des dispositifs et de leurs effets éducatifs est appelée analyse *pluriannuelle*.

*Une année d'investigation qui se termine de fait en mars…*

Il se trouve que vers fin mars, les élèves approchant de leurs examens finaux, s'angoissent souvent de leurs examens et désinvestissent la biologie, peut-être parce que leur implication dans l'IBL a permis de bonnes notes et n'est plus perçue comme critique pour leur réussite. Après plusieurs implémentations du dispositif, dès 2006, le dispositif a été arrêté avec les vacances de pâques soit vers fin mars de chaque année. C'est à cette période que nous nous référons ci-après avec l'expression « fin d'année ». De même, la mention de « toute l'année » dans ce texte fait donc référence à la période fin août – fin mars pour les années depuis 2006.

*Référence temporelle : date ou numéro de version ?*

Pour les analyses *yearlong* annuelles, la référence à la date pose plusieurs problèmes : le temps scolaire n'est pas continu (vacances, cours supprimés pour éducation routière, examens, etc.) et les discontinuités ne sont pas situées aux mêmes dates d'une année à l'autre, surtout sur une durée de près de 10 ans. Le numéro de version est un repère de progression du temps dépendant de l'activité des élèves et donc introduit un biais pour mesurer les variations de cette activité en fonction du temps, mais il n'est pas contingent des variations du calendrier scolaire il nous a paru plus pertinent pour des comparaisons d'une année à l'autre. La Figure 22 montre que les deux échelles ne sont pas extrêmement différentes : cette année-là, les vacances de février sont repérables à une activité dans le wiki réduite et donc à une progression des numéros de version ralentie. La corrélation entre les deux séries de valeurs est de 0.97.

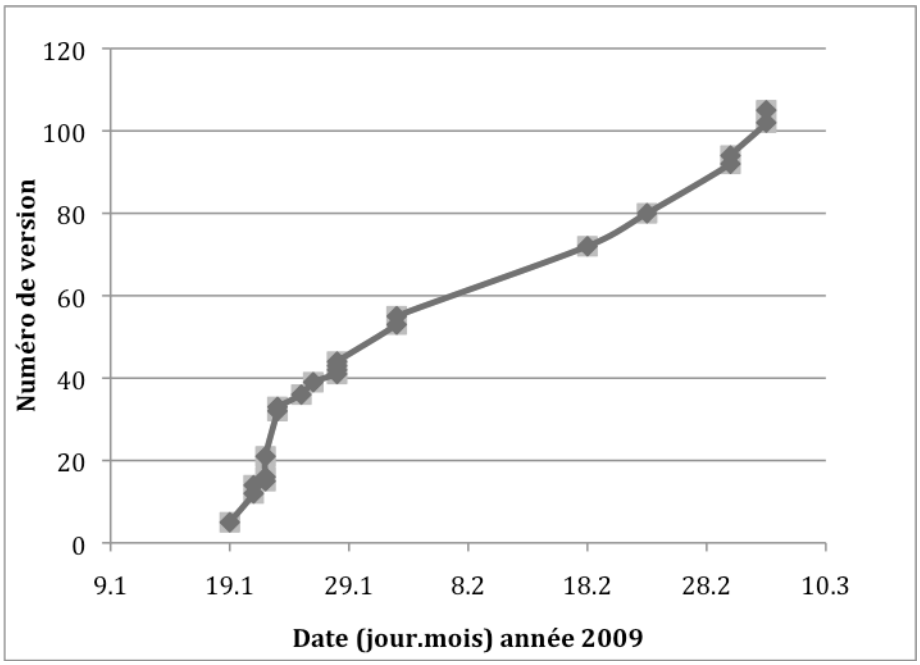



Figure 22 : Comparaison de la progression des numéros de version et du temps de calendrier en 2009 : les deux temporalités ne sont pas complètement parallèles, mais bien corrélées (0.97).

Nous avons choisi de représenter les graphiques d'évolution des nombres de mots et de questions en fonction du numéro de version plutôt que de la date.

### 5.5.4 **Choix de la sélection de documents étudiés**

Pour mesurer ce que le dispositif réalise en fin d'année, nous avons recouru aux documents wiki produits à cette période de l'année. Il s'agit de l'immunité, un chapitre généralement motivant pour les élèves et intéressant à analyser notamment par l'hétérogénéité des ressources facilement disponibles. L'investigation du chapitre étant répartie en quatre groupes assumant chacun un des 4 sous-chapitres (immunité humorale, cellulaire, vaccins auto-immunité, allergie et immunité innée) – le choix s'est porté sur l'immunité *humorale*. C'est l'un des deux thèmes les plus centraux de l'immunité avec l'immunité cellulaire. Entre les deux, le choix a été aléatoire. Afin de comparer les années ou de déterminer la robustesse sur les années des observations l'analyse multi annuelle de nombre de mots, de questions et de complexité épistémique a porté sur les documents wiki équivalents – dans les versions finales – de plusieurs années successives[13] : 2005-2006, 2006-2007, 2008-2009, et 2009-2010, ainsi que le document du même groupe même en début d'année 2007-08.

[13] Il s'agit des pages :

http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunoHumorale06

http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmuniteHumorale07

http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09

http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/CalWikiImmuniteHumorale-10

http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/StructureADN08

Ce choix arbitraire inclut des documents qui ont obtenu les meilleures notes ou produits par certains élèves qui ont de très bons résultats scolaires et d'autres documents qui ont été jugés suffisants sans plus ou qui sont produits par des élèves qui ont des résultats médiocres. Il faut relever que l'échantillonnage tombe pour 2010 sur la moins bonne production de la classe et un groupe qui a dysfonctionné, et que l'enseignant a une disponibilité réduite par rapport aux autres années pour des raisons de santé familiale. Cet échantillonnage assez diversifié donne de ce fait une assez bonne représentativité aux résultats.

Pour une comparaison *yearlong* entre le début de l'année et la fin, l'état final de la production d'un même groupe d'investigation a été comparée entre septembre 2008 et mars 2009. Le nombre de questions et la complexité épistémique (cf. Méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) de la version finale ont été mesurés.

L'analyse de ces documents a déterminé le nombre de mots, le nombre de questions en fonction de la date ou du numéro de la version, ainsi que la complexité épistémique au début de l'investigation, vers le milieu et à la fin.

### 5.5.5 **Méthodes de comptage des mots et des questions**

Des documents wiki à différents moments de leur élaboration ont été évalués pour le nombre de mots et de questions.

Le comptage des mots a été effectué par copie dans le logiciel Word et en appliquant la fonction statistique de comptage des mots. Le comptage a porté sur tout le contenu du document : titres et liens en bas du document wiki compris. En effet, la structure d'un document proposé aux élèves est un canevas qui représente selon les années de l'ordre de 200 mots avant que les élèves ne commencent à y écrire[14] Le nombre de mots minimal est donc de 200 environ. Par contre, nous n'avons pas pris en compte les textes correspondant aux commandes de gestion du wiki et les indications informatiques qui figurent dans la page car elles ne sont pas introduites par les acteurs du dispositif.

Pour les questions, selon les consignes données par l'enseignant, chaque paragraphe devrait être précédé d'une question et le comptage simplifié. Cependant quelques cas particuliers ont été gérés de la manière suivante :

- les éléments de glossaire ou définitions ne sont pas explicitement des questions mais ont été comptés comme question implicite

- lorsqu'un paragraphe séparé est précédé d'un titre qui n'est pas grammaticalement formulé comme question, il a été compté comme question. Par exemple nous avons compté comme question ce titre :

| Mécanisme détaillé. |
|---|

Parce qu'il est un titre de section issu du canevas, et dans le cas où la réponse qui le suit correspond à une question implicite, ce libellé a été compté comme question.

### 5.5.6 **Méthodes d'analyse du suivi des questions**

Pour un document typique choisi au hasard dans la sélection, (ImmunoHumorale06)[15], nous avons construit un graphique de suivi des questions qui indique l'apparition des questions en rapport avec la date et l'heure, et la filiation des questions dans une visualisation arborescente (cf. Figure 32). Cette filiation a été illustrée par des exemples d'extraits. La filiation a été

---

[14] Cf. 10.4 Annexe : Canevas structurant les documents wiki (p. 373)
[15] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunoHumorale06

recherchée d'après la position dans le texte, la comparaison des versions enregistrées dans le wiki et les liens sémantiques entre les différentes versions du document. Dans quelques cas la filiation reste discutable, mais par définition de l'investigation, chaque question résulte forcément d'une autre, aussi une autre interprétation de ces quelques cas ne remettrait pas en question la structure du tableau et les conclusions que nous en tirons.

Ces liens de filiation ont été organisés en fonction du temps et des numéros de version et représentés dans une carte (Figure 32) qui illustre l'apparition des questions avec leur date, l'heure et le numéro de versions.

Comme le système enregistre chaque version produite, une option permet d'indiquer au moment de la sauvegarde l'importance des changements (révision majeure ou mineure) mais dans la pratique les élèves n'indiquent presque jamais cette distinction et sauvent parfois après quelques corrections de coquilles (mineure ou de travail) et d'autre fois après une réécriture approfondie d'une part importante du texte (majeure). Aussi nous avons repéré les révisions majeures par le contenu : elles correspondent à la fin d'une période d'activité d'un élève. Dans les analyses c'est ces versions que nous avons indiquées comme révisions majeures.

Le nombre de changements de libellé des questions entre chaque version majeure a aussi été noté dans un tableau (cf. Tableau 4) afin de repérer la temporalité des révisions du texte.

*Suivi des reformulations des questions*

Dans la sélection des documents étudiés, nous avons arbitrairement sélectionné celui de l'année 2009. Dans ce document les questions de chaque version enregistrée ont été comparées et les changements notés (nombre de questions dont la formulation a changé depuis la version précédente indiquée). Seules les versions de révisions majeures sont indiquées.

La fonction de comparaison de versions du wiki facilite grandement le travail de repérage des changements au cours de l'analyse stratigraphique.

*Sélection des exemples*

Nous avons souvent illustré le propos avec des exemples de productions d'élèves dans le wiki. Leur sélection est faite afin de permettre d'illustrer le propos ou sur la base de leur représentativité : lorsqu'un éventail de réponses est présent, nous avons choisi des exemples représentant la diversité des réponses. Les réponses étant disponible dans le wiki, le lecteur pourra accéder à la totalité des réponses (les adresses URL sont fournies) pour vérifier en cas de doute.

Ces exemples sont indiqués par un style typographique particulier :

| Exemple de production d'élève dans le wiki |
|---|

### 5.5.7 **Méthodes d'analyse de la complexité épistémique**

Pour analyser l'adéquation au paradigme, centré sur les mécanismes sous-jacents, nous avons cherché des variables intérmédiaires qui puissent traduire le centrage de l'investigation sur des questions de mécanisme et des réponses abordant la complexité de ces mécanismes. Dans un premier temps, nous avons tenté l'analyse des questions selon deux catégories distinguant les mécanismes et les descriptions. Les questions d'un document wiki ont été codées en deux catégories : Questions Descriptives (QD) et Questions de Mécanismes (QM). Le code QD a été attribué aux questions se référant au niveau 1 *Retenir, Avoir des connaissances* de (Bloom, et al., 1956) et les QM aux niveaux 2-3 *Comprendre / Appliquer au concret un principe*.

Pour mesurer l'adéquation des *productions* au paradigme actuel de la biologie et donc l'explication des mécanismes sous-jacents, nous avons mesuré la complexité épistémique qui

distingue les descriptions des explications et leur degré d'élaboration. Cette variable tente de capturer une caractéristique des connaissances scientifiques : leur mode de justification étayé par un raisonnement reposant sur des données (Toulmin, 1958).

Nous avons utilisé une échelle de complexité épistémique appropriée pour la science qui se réfère à (Hakkarainen, 2003) et adaptée par (Zhang, Scardamalia, Lamon, Messina, & Reeve, 2007 p.143). Les textes ont été découpés en unités de sens qui ont été codées selon un degré sur cette échelle. Ainsi une simple description, l'énoncé d'un fait sans justification (« simple » traduction de « *unelaborated* » (Zhang, et al., 2007)) est le premier degré de cette échelle et une explication d'un mécanisme, solidement étayée est le degré le plus élevé (« élaboré »). Cf. Tableau 3.

Une unité de sens est une proposition (sémantique, pas forcément grammaticale) qui peut être un fragment de phrase ou s'étendre sur plus d'une phrase. Exemple :

> C'est une réaction aux antigènes étrangers à l'extérieur de la cellule. Elle entraîne la production d'anticorps (on peut également les appeler immunoglobulines=protéines) par le système immunitaire.

Dans ce cas nous avons compté deux unités de sens : la première s'étend sur deux phrases, la seconde est la parenthèse.

Les unités de sens ont été codées en catégories de complexité épistémique selon le tableau de complexité épistémique suivant :

| Valeurs | Sous-catégories et caractéristiques | Exemples |
|---|---|---|
| Faits simples (UF) | Description de termes, phénomènes, ou d'expériences sans élaboration | ‘‘un lymphocyte ne va produire qu'un seul type d'anticorps.’’ |
| Faits élaborés (EF) | Elaboration de termes, phénomènes, ou d'expériences. | « lorsque des virus sont libérés par la destruction d'une cellule infectée, ils peuvent être combattus par des anticorps produits par les lymphocytes B » . |
| Explications non élaborées (UE) | Raisons, relations, ou mécanismes mentionnés sans élaboration. | « Comme les anticorps ont au moins deux sites de fixation, ils peuvent s'attacher à plusieurs agents pathogènes semblables en même temps. » |
| Explications élaborées (EE) | Raisons, relations, ou mécanismes mentionnés élaborés. | « Les anticorps peuvent se lier aux protéines se trouvant sur la membrane de l'agent pathogène. Dès lors, celui-ci ne peut plus entrer dans la cellule et est hors d'état de nuire. » |

Tableau 3 : Echelle des valeurs de complexité épistémique d'après (Zhang, et al., 2007).

*Notes sur l'usage du Tableau 3*

Les explications ne sont pas de simples descriptions des événements telles que « participent à… », ni des évocation du mécanisme, mais explicitent des liens entre évènements, des causalités, des corrélations, etc.

Dans de rares cas, un groupe de faits simples (UF) a également été attribué à la catégorie des explications simples UE quand leur juxtaposition créait une explication.

Les images ont été ignorées, sauf quand elles ont été réalisées par les élèves eux-mêmes, mais les légendes ont été codées avec l'explication de l'image prise en compte.

En cas de doute, c'est l'interprétation épistémique minimale qui a été retenue : « Ils englobent par phagocytose les bactéries et les débris cellulaires morts et présentent les fragments d'antigènes aux lymphocytes. » peut être appris par cœur et donc est codé comme 3 fois UF alors qu'il peut être une tentative de certains élèves d'exprimer un mécanisme, qui serait une explication élaborée EE.

La complexité du sujet traité peut « polluer » l'analyse de la complexité épistémique. L'exposé de faits peu connus et d'abord difficile pour l'évaluateur pourrait paraître plus « complexe » que des explications élaborées de faits simples et très connus. Nous avons pris garde d'éviter ce biais.

Le double codage qui serait nécessaire pour une étude comparative dans le paradigme expérimental n'a pas pu être réalisé faute de trouver d'autres codeurs et vu les contraintes de temps. Nous considérons que cela pourrait être judicieux dans les prolongements de cette recherche d'effectuer ces confirmations, mais que par rapport aux objectifs exploratoires de la thèse et vu l'ampleur du projet dans son ensemble, ces données sont suffisantes pour supporter nos conclusions.

### 5.5.8 **Méthodes d'administration, dépouillement et analyse des questionnaires**

Un « questionnaire de fin d'année » a été passé aux élèves en fin d'IBL, soit juste avant Pâques. Nous en disposons pour les 4èmes OS six années : de 2003-4 à 2009-10, pour les 3èmes OS en 2008-09. Pour les années 2008-9 et 2009-10, un questionnaire a été administré au début, mais n'a pas pu être utilisé vraiment comme comparaison pré-post : il aurait un sens limité dans la méthodologie DBR qui ne cherche pas tellement à savoir si les élèves apprennent, mais plutôt quelles conditions ont permis les apprentissages observés.

Le questionnaire interroge leurs représentations sur le dispositif d'investigation, sur l'artefact wiki, sur le contrat didactique (responsabilité de validation, les présentations intermédiaires, sur le travail en groupe, l'autonomie et le soutien du enseignant), sur leurs stratégies d'apprentissage, et de gestion d'information, (questionnement, sélection de ressources, synthèse, écriture et confrontations orales et par co-écriture,…) sur la science et les certitudes, enfin sur l'appréciation globale du dispositif et des apprentissages effectués.

La méthodologie DBR implique une reconceptualisation continuelle qui a conduit à modifier le questionnaire au fur et à mesure de l'identification de questions plus pertinentes, mais les questions d'origine ont été conservées chaque fois que c'était possible pour permettre la comparaison sur plusieurs années. Le questionnaire a donc évolué au cours des 6 ans.

Le dernier questionnaire (2010) se composait de 47 questions : 16 questions de type choix Likert et de 31 questions ouvertes.

Les questionnaires avec les réponses des élèves et l'analyse préliminaire sont disponibles on-line puisqu'ils ont été proposés aux élèves comme feed-back de l'évaluation et qu'ils ont aussi une intention de développer la métacognition.

- 2009-10 http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin10
- 2008-9 http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin09
- 2007-8 http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin08
- 2006-7 http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin07
- 2005-6 http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Bilan4OSCalvin06
- 2003-4 http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/BilanEcologie4OS
- Feed-back d'ex-élèves un an après à l'uni /EPFL / HEC (questionnaire post-secondaire)
- http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/BilanCyber3DF05
- http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/BilanEcologie4OS
- http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/BilanActivite

Les questionnaires ont été administrés sur papier pour les premières années et via un formulaire informatique pour les années les plus récentes (dès 2008) Ils ont été administrés de manière à rendre explicite l'anonymat du traitement des données. En conséquence des corrélations avec les résultats scolaires n'ont été possibles que dans un des cas.

La mention d'une question dans un questionnaire est signalée par un style typographique particulier :

**Exemple de question dans un questionnaire de fin d'année**

Nous avons souvent illustré le propos avec des exemples de productions d'élèves dans le wiki : elles sont indiquées par un style typographique particulier :

Exemple de réponse d'élève à un questionnaire (dans le wiki)

Les textes sont retranscrits tels quels avec l'orthographe d'origine, sauf là où la compréhension était en jeu. Il faut préciser que les réponses au questionnaire post-secondaire sont un courriel, dans un contexte social d'interactions électroniques où les règles d'écriture sont différentes de celles valables en classe. De même, les citations tirées des wikis à un stade intermédiaire sont une étape de construction de la connaissance et les exigences sur l'orthographe et la syntaxe ne sont pas prioritaires. Nous avons discuté plus haut la distinction entre les phases où il faut valoriser les idées des élèves et donc supporter leur langage propre et celles où les savoirs sont institutionnalisés et le langage adéquat institué.

Pour les questions à choix multiplies de type échelles de Likert, l'échelle utilisée à quatre degrés de 1 à 4 avec des valeurs indiquées. Un nombre pair de réponses a été choisi pour inciter à des réponses discriminantes. Les valeurs numériques ont été traitées pour la moyenne et l'écart-type. La lettre grecque μ représente la moyenne et l'abréviation « s.d. ou σ » est l'écart-type.

Les valeurs numériques (des questions à réponses de type Likert) ont été traitées dans le logiciel SPSS /PASW : des corrélations ont été cherchées, une analyse en composantes principales a été effectuée pour aider à identifier des variables qui seraient importantes à prendre en compte.

Parce que l'analyse statistique n'indiquait pas la pertinence d'analyses statistiques complexes sur l'ensemble des réponses aux questionnaires, dans l'analyse finale de simples moyennes et écart-type ont été calculés avec le logiciel Excel. Nous avons fourni les moyennes, alors qu'il apparaît

après coup que les médianes seraient probablement plus pertinentes. Avec les échantillons faibles dont nous disposons et comme cette recherche s'inscrit dans le paradigme DBR et qu'il s'agit d'une recherche exploratoire, les conclusions ne dépendent pas de manière cruciale de ces chiffres. Démontrer la faisabilité de l'IBL, conceptualiser un design, identifier les variables importantes, sont l'objectif de cette recherche plus que de procéder à une comparaison rigoureuse. Aussi nous n'avons pas pu refaire toutes ces statistiques.

Pour certaines questions, les premières versions du questionnaire proposaient des réponses en texte libre, alors que plus tard des chiffres sous forme de choix Likert étaient proposés. Dans ce cas, chaque affirmation dans la réponse est codé : comme certaines réponses mentionnent plusieurs caractéristiques, le nombre total d'items de réponses peut dépasser le nombre de répondants.

*Codage en catégories*

Pour faire une synthèse à travers les années, les réponses libres ont été codées en catégories permettant la synthèse avec les valeurs Likert et la comparaison entre années. Dans ce cas, les commentaires ont été pris en compte pour les coder dans les catégories pertinentes.

Par exemple pour la question :

> **« Avez-vous l'impression que vous avez été bien préparés dans ce cours BiOS à faire face à de gros ouvrages scientifiques ? »**

Les réponses ont été codées pour l'adhésion à cette affirmation en « positives » et « négatives ». Exemples de réponses codées comme positives

> Oui, dans la mesure où il est maintenant plus facile de s'y retrouver dans des ouvrages scientifiques souvent gigantesques.
>
> Totalement ce cours nous a permi de pouvoir faire le tri très rapidement parmi toutes les informations qu'ont avaient pu recevoir, ce grâce au schéma type de nos exposé définition, principe, mécanisme, question en rapport avec le thème
>
> Oui, même si ça ne donne pas du tout envie d'ouvrir ces gros livres (médecine). On s est un peu habitué , la routine , quoi!
>
> oui, on a été bien préparé. mais je le dis maintenant, car j'étais plutôt sceptique l'année passée.

Exemples de réponses codées comme négatives :

> Honnêtement pas énormément, car on avait des ouvrages déjà excessivement proche de notre sujet et qui étaient à notre disposition. Or, je pense que ce qui est le plus difficile c'est de rassembler et de trouver les bonnes sources.
>
> parce que le travail que je dois effectuer aujourd'hui dans mes pavés de droit ne demande pas la même attention qu'il m'était demandé dans le Campbell et le Raven.
>
> Plus ou moins, le travail de maturité m'a plus aidé a ce sujet. Cela dit je ne suis pas en medecine donc j'ai moins de mot a n'en plus finir a apprendre et les ouvrages sont plus petits.

Parfois, les réponses libres ou les commentaires des réponses Likert contiennent des items positifs et des items négatifs par exemple :

> 2,5 Si je mets un 2,5 ce n'est pas parce que j'ai été mal préparé à faire face à de gros ouvrages scientifiques, mais parce que le travail que je dois effectuer aujourd'hui dans mes pavés de droit ne demande pas la même attention qu'il m'était demandé dans le Campbell et le Raven. Par contre ce qui m'a aidé, c'est de ne plus être impressionné par un livre de plusieurs milliers de pages et ne plus me dire que c'est inaccessible.

La réponse a été codée comme pour un élément positif (« ce qui m'a aidé, c'est de ne plus être impressionné par un livre de plusieurs milliers de pages et ne plus me dire que c'est inaccessible ») et un élément négatif (« parce que le travail que je dois effectuer aujourd'hui dans mes pavés de droit ne demande pas la même attention qu'il m'était demandé dans le Campbell et le Raven »)

Parce que le questionnaire de fin d'année est passé durant un cours, le taux de réponse est élevé : par exemple pour l'année 2009-10 N= 12 soit 86% des élèves du groupe-classe.

*Questionnaire post-secondaire*

Les ex-élèves ont reçu par mail une invitation à répondre à un questionnaire sur leurs connaissances et leurs stratégies d'apprentissages environ un an plus tard, lorsqu'ils sont devenus étudiants à l'université : nous nous y réfèrerons ici comme « post-secondaire ». Les réponses au questionnaire post-secondaire donnent des indications sur (les représentations des élèves sur…) l'ampleur et la durabilité des connaissances acquises ainsi que leur pertinence pour les études universitaires. Leur analyse renseigne sur leurs perceptions métacognitives, leur perception des stratégies d'apprentissage acquises et donne des indications sur la poursuite de buts de maitrise ou de compétence.

Le nombre total de répondants sur l'ensemble des années est de 32. Le nombre de réponses est 2012 : 8 réponses, 2010 : 1 réponse, 2009 : 5, 2008 : 8 réponses, 2007 et avant : 10 réponses. Le taux de réponse s'approche de la moitié (par exemple 8 réponses en 2007 pour 16 élèves en 2006).

Le questionnaire a évolué au cours des années : en 2005 il comportait trois questions très ouvertes, il a été progressivement augmenté et a repris les formulation de certaines questions du questionnaire de fin d'année. Deux exemples de ce questionnaire (version 2005 envoyé aux étudiants de la volée 2004 et 2011 envoyé aux étudiants de la volée 2010) sont proposés en section 10.7 Annexe : Exemples de questionnaire post-secondaire (p. 381).

Les valeurs numériques (réponses type Likert) ont été traitées pour la moyenne et l'écart-type. La lettre grecque μ représente la moyenne et l'abréviation « s.d. ou σ » est l'écart-type avec le logiciel Excel. Le choix des moyennes plutôt que des médianes a été discuté dans la rubrique précédente des questionnaires de fin d'année.

Les réponses en texte libre ont été codées en catégories permettant la synthèse et la comparaison. Pour certaines questions, les premières versions du questionnaire proposaient des réponses en texte libre, alors que plus tard des chiffres sous forme de choix Likert étaient proposés. Pour faire une synthèse à travers les années, les réponses libres ont été codées en catégories permettant la synthèse avec les valeurs Likert et la comparaison entre années. Dans ce cas les commentaires ont été pris en compte pour les coder dans les catégories pertinentes. Un exemple de codage a été fourni dans la rubrique précédente (Codage en catégories) des questionnaires de fin d'année.

L'analyse de ce questionnaire doit prendre en compte un biais d'échantillonnage : ceux qui ont répondu pourraient être plus positifs par rapport à cet enseignement que ceux qui n'ont pas répondu.

Les résultats ont été indiqués avec l'année ou les années concernées, la moyenne (μ), l'écart-type (s.d. ou σ) et le nombre de réponses (N).

Parfois certains élèves ont fourni plusieurs réponses, aussi le nombre d'individus qui ont fourni une réponse peut être différent du nombre de réponses. Quand c'était pertinent les réponses additionnées de plusieurs années ont été fournies.

Faute de traduction du terme anglais *evidence*, nous employons dans les analyses et les conclusions le terme d'indices avec le sens de traces – comme dans une enquête – et non au sens statistique d'agrégation d'indicateurs.

### 5.5.9 Méthodes d'analyse des autres sources : journal de suivi des observateurs, autres sources

Des observations du fonctionnement du dispositif dans des journaux de suivi, malheureusement discontinues et relevées à des moments très différents du projet : certaines avec moins de traces écrites dans les dispositifs précurseurs, l'une – plus complète – lors de la première implémentation du dispositif étudié en 2005 et d'autres plus récentes mais plus brèves.

Une stagiaire dans une formation – où l'enseignant n'était pas impliqué – qui a continué volontairement comme observatrice a fourni des observations[16] sur l'année 2003-2004 pour 60 heures environ sur 30 semaines. Nous la nommerons Emma (prénom fictif). Un journal de suivi a été établi durant plusieurs mois par une autre observatrice, avec des entretiens après chaque leçon du 15 novembre 2004 au 30 mai 2005. Nous la nommerons Eléonore (prénom fictif); Nous nous référons aussi à des entretiens avec un autre stagiaire en 2005-2006 pour 2 x 6 heures (Nous le nommerons Bernard (prénom fictif)), et un stagiaire en 2009-10 pour 4 x 2 heures Nous le nommerons Albert (prénom fictif)) ont fourni des observations supplémentaires[17].

Bien qu'incomplètes, ces observations fournissent des indications précieuses sur le fonctionnement du dispositif. Elles renseignent notamment sur les interactions entre l'enseignant et les élèves ou ce qui se passe hors de son champ de vision. Les citations proviennent du journal de ces observateurs ou des notes prises lors de entretiens. Elles ont été reportées et mises en forme typographiquement comme des citations.

*Limites de ces méthodologies*

Le double codage qui serait nécessaire pour une étude comparative dans le paradigme expérimental n'a pas pu être réalisé à cause de la difficulté de trouver d'autres codeurs disponibles dans les contraintes de temps. Nous considérons que cela pourrait être judicieux, dans le prolongement de cette recherche, d'effectuer ces confirmations, mais que par rapport aux objectifs exploratoires de la thèse et vu l'ampleur du projet dans son ensemble, les données présentées suffisent pour supporter nos conclusions.

Il faut noter que l'enseignant est aussi le chercheur. Cela a permis la mise en place d'un dispositif très engagé, d'un design qui explore des conjectures éducatives assez radicales, mais c'est une confusion des rôles qui introduit un risque de biais d'observation très important : on sait (Meirieu, 1996) combien ce que les enseignants croient avoir fait et l'observation de ce qui s'est passé en classe ne coïncide pas toujours.

> *The mismatch between teacher's rhetoric and practice, also complicates obtaining valid and reliable information based only upon teachers' self-reports*. (Hofstein & Lunetta, 2004 p. 39)

C'est pourquoi l'analyse ne recourt que très rarement aux perceptions de l'enseignant, mais plutôt aux productions des élèves, au journal des observateurs et aux questionnaires administrés aux élèves.

---

[16] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Cyber3DFCalvin
[17] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/JournalObservationCyberCalvin

Pour le questionnaire post-secondaire qui n'est pas vraiment anonyme, en plus du biais d'échantillonnage, on ne peut pas écarter un biais de désirabilité sociale chez les répondants : ils pourraient avoir envie de donner des réponses en pensant faire plaisir au chercheur ou à l'enseignant. La franchise de certaines réponses au questionnaire post-secondaire suggère que les élèves en ont conscience :

> J'avoue que j'ai trouvé la méthode de question et de cours à faire soi-même nul, mais cette année, je trouve que ça me sert, car pour réviser les cours, je me fais un système de question-réponse et que je fais la plupart de mes cours à partir de livre... donc en résumé, c'etait chiant de faire cette méthode au collège, mais c'est une bonne préparation pou l'uni.
>
> Maintenant que je ne suis plus dans votre cours, je n'ai pas besoin de faire le lèche-botte. C'est ainsi que je vous répondrai en toute honnêteté que…
>
> On verra! =)
>
> Faut toujours etre relatif: il est indeniable que ce cours fut bien plus utile pour moi qu'un cours ordinaire (excepté math et allemand) comme le francais ou la musique. Cela dit je pense que l'on ne peut jamais etre pret pour l'uni, car l'uni c'est vraiment l'inconnu.

Ces réponses montrent que les élèves sont conscients des conséquences possibles pour eux – dans l'école – des réponses données à un enseignant (en termes de leur perception par l'enseignant et de leurs notes peut-être, par effet Pygmalion ou par des effets plus directs peut-être). Aussi les réponses doivent être prises avec prudence.

Résumons ici les limites que ces méthodologies déterminent.

- Des questionnaires qui ont changé au cours des années. Des questionnaires non standardisés, dont la formulation n'est pas validée. Ils avaient un objectif d'abord plus maïeutiques que centré sur des questions de recherche et ont évolué pour fournir des données en vue de la recherche, mais parfois ont conservé les formulations d'origine pour pouvoir comparer à travers les années. Nous avons cherché des recoupements, des triangulations de données et n'avons pas fait reposer une conclusion sur ces seuls questionnaires
- Simple codage : le double codage qui serait systématiquement nécessaire pour une étude comparative dans le paradigme expérimental n'a pas pu être réalisés. Nous considérons que par rapport aux objectifs exploratoires de la thèse et vu l'ampleur du projet dans son ensemble, les données présentées suffisent pour supporter nos conclusions. Il serait cependant indispensable pour certains prolongements de cette recherche d'effectuer ces confirmations.
- Biais de *désirabilité sociale* : tout particulièrement pour le questionnaire post-secondaire qui n'est pas vraiment anonyme. Même si les étudiants ont quitté le secondaire et ne dépendent plus de l'enseignant, les réponses pourraient être biaisées : Ils pourraient avoir envie de donner des réponses qu'ils pensent faire plaisir au chercheur ou à l'enseignant.
- Le fait que le chercheur soit aussi l'enseignant a permis d'explorer des designs assez radicaux, mais induit de nombreux biais qui n'ont – malgré une grande prudence dans le choix des données et leur interprétation – peut-être pas tous pu être compensés. Nous avons tenté de limiter ce biais en basant notre analyse sur des données aussi indépendantes que possible comme les productions des élèves, les journaux des observateurs, et les questionnaires administrés aux élèves.

- Limitées liées à l'envergure de l'objet étudié et à sa durée : Analyses non systématiques (pas toutes les pages) et échantillonnage restreint (quatre par investigation à chaque stade de l'année, une petite demi-douzaine d'investigations par année : la résolution temporelles est limitée. Nombre d'élèves par année restreint et donc statistiques faibles.

Limites liées à DBR :

- Méthodologies encore peu stabilisées en DBR, emprunt de méthodes à plusieurs champs de recherche. Ces emprunts ont été discutés, mais restent difficiles à valider indiscutablement. Différences entre les itérations difficiles à isoler, pas de *groupe contrôle* possible. Ces limites nous ont paru acceptables pour une recherche exploratoire comme celle-ci.
- Nombre de variables : la nécessité de produire un design complet fondé sur des observations et l'ampleur des dimensions étudiées implique une précision et une rigueur moindre sur chacun des paramètres. L'intégration des variables par recoupements et triangulations limite cette critique, mais est d'une interprétation délicate. Il nous semble que la généralisabilité des résultats individuels est plus discutable que de la structure cohérente défendue dans les conclusions.
- Impératifs de la recherche en tension avec les valeurs de l'enseignement : parfois la responsabilité face aux élèves d'enseigner a induit une influence de l'enseignant sur les paramètres mesurés, notamment lors des discussions sur la métacognition qui pourraient avoir influencé les réponses des élèves sur leurs compétences métacognitives ou l'effet d'une activité sur les apprentissages. C'est un choix que nous assumons et sommes prêts à défendre.

Ces biais et limites seront pris en considération pour juger de la validité et de la portée des analyses.

# 6 Résultats Q1 : Description et validation du dispositif

La première question de recherche (Q1: *Comment réaliser un dispositif d'investigation à l'année assez efficace pour que les élèves d'année terminale y acquièrent des connaissances pertinentes aux yeux de l'institution ?*) repose sur la réalisation de plusieurs implémentations d'un dispositif d'investigation développé sur une dizaine d'années dans diverses classes de biologie au secondaire supérieur.

Il faut rappeler que ce dispositif a été développé d'abord avec l'objectif d'améliorer l'enseignement de la biologie au secondaire II, avec un cadre conceptuel très peu formulé, constitué d'une longue expérience, d'une posture réflexive et de confrontation aux sciences de l'éducation à travers les problématiques d'intégration des technologies. Il s'est construit et a évolué par des choix empiriques intuitifs qui se sont avérés parfois féconds : un centrage sur l'approfondissement de la biologie comme but explicite, une recherche d'authenticité, une structure favorisant la confrontation d'idées et une activité construite autour de l'écriture partagée notamment. On pourrait qualifier cette méthodologie construite par la dialectique entre les moyens disponibles et le but recherché avec le terme de « bricolage » (Lévi-Strauss, 1962). Loin d'être dévalorisant, il s'inscrit dans une vision de l'adaptation au milieu par tâtonnements et sélection des meilleures implémentations que le biologiste assume pleinement (Duboule & Wilkins, 1998). Ce tâtonnement correspond sans doute à certaines phases de toute recherche, même si elle est ensuite récrite selon un genre littéraire bien défini où ces phases n'ont pas leur place (Giordan, 1998; Hodson, 1996; Kuhn, 1972; Sandoval & Morrison, 2000; Strasser, 2003). On peut relever que certains emploient, dans le champ de la recherche action, l'expression de "Research as bricolage" (Greenwood & Levin, 1998) pour décrire la recherche comme une activité créative résultant des interactions entre les artefacts disponibles et les objectifs conduisent à des expériences et produisent de nouvelles connaissances (K. Campbell, 2002).

Par exemple, les questionnaires ont été administré aux élèves d'abord avec un but maïeutique et métacognitif, puis ont suscité des questions dans le plan de la recherche. Ils visaient à aider les élèves à prendre conscience de ce qu'ils avaient appris, mais ont servi aussi à alimenter la réflexion d'un praticien dont l'expertise se développe avec l'observation des effets de ses théories d'action (Schön, 1994). Les discussions avec les élèves, les collègues, les chercheurs à TECFA et à la FAPSE ont constitué des apports importants pour élaborer les premières implémentations des premiers dispositifs qui remontent à 2002. En 2006, le design paraît suffisamment fiable à l'enseignant pour s'en inspirer et concevoir un dispositif pour une classe de terminale 4 OS où il constitue la première implémentation du dispositif IBL étudié ici. Avec le temps, les discussions avec des enseignants, des observateurs en classe et des chercheurs, et un investissement du champ de la recherche en éducation, la formalisation et le développement dans la dimension recherche du projet ont pris le dessus. D'abord comme source d'outils d'analyse et d'observations ou de recommandations de design pour faire évoluer le dispositif, puis comme objet de recherche de plus en plus formalisé. Aussi, les méthodologies qui ont servi à la conception des implémentations initiales du dispositif sont peu formelles, elles sont dans le plan des savoirs enseignants donc peu discernables dans le plan des sciences de l'éducation où cette recherche se place. Nous avons discuté plus haut (section 4.1.5 (p. 59)) de la perpendicularité des savoirs et du peu d'épaisseur que peuvent avoir des savoirs projetés dans une autre dimension.

Ces implémentations ont permis une conceptualisation progressive et l'élaboration d'un dispositif d'investigation à l'année et pour des classes terminales dans lequel des conjectures ont pu être implémentées sous forme d'éléments de design et testées. Nous le décrirons en détail, puis de manière synthétique dans la Q1A. Ce dispositif, une fois validé, permettra ensuite – dans

la question de recherche Q2 et ses sous-questions – l'analyse et la discussion des effets éducatifs de ces conjectures incarnées.

## 6.1 Résultats Q1A : Description du dispositif

Pour répondre à la première question de recherche: « *Comment est organisé le dispositif d'investigation IBL étudié ? »,* nous décrirons le dispositif dans sa forme finale après sept itérations. Nous le décrirons principalement en termes des individus, des activités, des rôles, des ressources et des groupes en nous inspirant de (Kobbe, 2005). Nous avons justifié plus haut que le paramètre central autour duquel s'articulent ces descriptions est le rôle effectif. Nous avons mis en évidence l'importance de la responsabilité dans la réflexion sur les rôles et précisé qu'un rôle n'est effectif que dans la mesure où la responsabilité en est réellement assumée. Nous chercherons à étudier les rôles par des comportements observés et tenterons de dépasser des étiquettes attribuées. Nous distinguons les rôles dans la description du dispositif avec une granularité assez fine : pour chaque phase de l'activité, un rôle déterminé peut être endossé par différents participants.

Nous enrichissons la description des variables – notamment d'attitude – que l'analyse conceptuelle a révélées et de celles qui sont apparues dans le pilotage des implémentations successives.

Il a fallu disséquer assez finement le dispositif pour discuter comment plusieurs choix de design sont liés à certains résultats éducatifs. En effet, le dispositif manifeste – dans les très nombreux choix qui constituent le design – des conjectures résultant des modèles d'action (Schön, 1994) basés sur une théorie discutée dans le cadrage théorique.

Nous traduisons le terme anglais *design feature* pour ces particularités du dispositif résultant de ces choix par *éléments de design* : « règles de conception » est trop prescriptif, « caractéristique de conception » trop souvent mal interprété. Ces éléments de design et les conjectures ont été fondés dans le cadrage théorique et sont listées plus haut (section 5.3.5 (p.151)).

### 6.1.1 Les grandes lignes du dispositif

On peut identifier trois responsabilités majeures (super rôles) dans le dispositif

- *responsable pédagogique* : organise un milieu qui confronte l'apprenant de manière à susciter les apprentissages notamment par l'organisation des activités, la mise en place d'une structure coopérative des interactions avec les ressources et entre les pairs, est le garant de l'adéquation aux plans d'étude et aux paradigmes scientifiques, le responsable de la validation et de la certification,
- ii) *autorité scientifique* : c'est la source des savoirs, la référence pour valider, l'accès au référent empirique, le plus authentique possible
- iii) *responsable d'une part des connaissances* de la communauté apprenante : investiguer – chercher, synthétiser, confronter, partager – pour construire ses propres connaissances et celles de la communauté apprenante.

C'est l'enseignant qui assume le rôle de responsable pédagogique, c'est dans les expériences, observations et autres ressources que les élèves trouvent l'autorité scientifique et assument la responsabilité de construction des connaissances. Deux caractéristiques décisives de cet IBL sont, d'une part, que les savoirs ne sont pas prescrits par l'enseignant mais que les connaissances sont construites dans l'interaction des apprenants avec les ressources et les pairs ; d'autre part, que la référence de validation est recherchée dans les ressources les plus authentiques possibles et donc les plus proches du référent empirique dans le paradigme scientifique. Il y a en fait deux étapes : i) la production commune de *savoirs* validés par les élèves dans l'espace d'écriture commune, et ii) la production individuelle de *connaissances* par les interactions dans la

production de cet artefact conceptuel, sa discussion et individuellement lors de la préparation des examens à partir des textes produits dans cet espace d'écriture.

La description du dispositif d'investigation constitue un résultat important du projet en soi, mais surtout parce qu'il rend possible l'analyse des conjectures incarnées pour en extraire des résultats de recherche d'une portée plus générale et les discuter.

### 6.1.2 Schéma des activités constituant l'IBL

Assez proche du modèle *d'inquiry* du (IBL Workshop Collective, 2001) (cf. Figure 10), nous avons développé un design qui en reprend la nature circulaire, itérative, l'alternance de phases de recherche, de synthèse et de confrontations. Un espace d'écriture partagé soutient les activités de construction et de confrontation de connaissances dans lesquelles les élèves investiguent en petits groupes dans une structure coopérative.

Le dispositif peut être décrit comme une succession circulaire ou plutôt une spirale d'activités qui étayent l'investigation tantôt en structurant tantôt en stimulant les élèves.

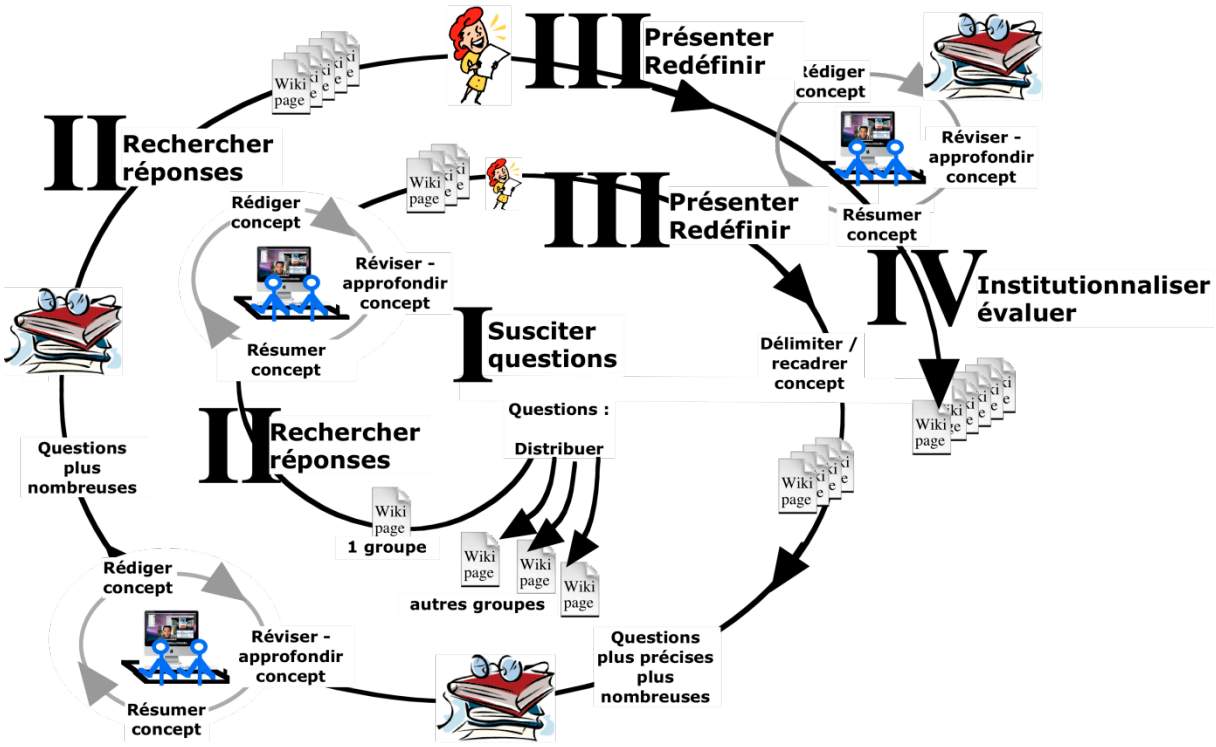



Figure 23 : Le dispositif d'investigation parcourt plusieurs itérations d'un cycle synthétisé dans ce schéma : 1 Susciter des questions, les enregistrer, les organiser. 2 Rechercher des réponses, lire, comprendre, synthétiser, écrire. 3 Présenter aux pairs et redéfinir les questions. Ce cycle est répété et terminé par une phase 4 : Institutionnalisation et évaluation de l'investigation.

Le cycle peut être découpé en 5 activités principales qui se succèdent au cours des cycles d'investigation qui approfondissent l'apprentissage. Ces activités seront développées plus bas, et leur succession – avec l'itération des phases – lors d'une investigation est illustré dans la Figure 23 et résumé dans le Tableau 4.

| | | |
|---|---|---|
| Activité I | Susciter des questions les enregistrer, les organiser | |
| Activité II | Rechercher des réponses, réviser, approfondir concept | ← |
| Activité III | Echéance, consolidation, évaluation | ↖ |
| Activité II | Rechercher des réponses, réviser, approfondir concept | ↑ |
| Activité IV | Présenter aux pairs et redéfinir les questions | ↑ |
| | Itération des activités II, III, II, IV, III | ↗ |
| Activité V | Institutionnalisation et évaluation de l'investigation | |

Tableau 4 : Les activités principales et leur déroulement dans le dispositif d'investigation

Nous allons décrire ces activités d'abord brièvement en indiquant notamment leur but, puis nous décrirons en détail leur organisation et l'articulation entre elles.

### 6.1.3 **Articulation des activités dans le dispositif**

La première activité vise à faire apparaître un éventail de questions suffisantes pour couvrir une grande partie du champ conceptuel visé. Elle est pilotée de manière à faire apparaître un grand nombre de questions, on y veille à susciter et maintenir la dévolution : en d'autres termes, la qualité des questions (adéquation aux paradigmes de recherche ou scolaires) se place au second plan des priorités.

La deuxième activité est la recherche de réponses, guidée par les questions qui naissent à partir des réponses aux premières questions, on y veille à susciter et maintenir la dévolution, puis progressivement l'accent se déplace sur les réponses et l'ajout de nouvelles questions est plutôt découragé.

La troisième activité est déterminée par une échéance et oblige les élèves à produire un état d'aboutissement (temporaire) des documents wiki associé à une évaluation notée. Ce qui est principalement visé dans cette activité est que les connaissances – encore partiellement formées chez les élèves – soient formalisées dans l'espace d'écriture. Cela oblige chaque élève à expliciter ses connaissances (et probablement à les améliorer en les écrivant) et rend possible les confrontations sur la base de ces textes lors des exposés durant et surtout après l'évaluation notée.

La quatrième activité s'articule autour de présentations aux pairs de l'état des connaissances de chaque groupe. Elles visent à : i) partager leurs connaissances pour mutualiser l'apprentissage, ii) prendre conscience de la qualité de leur propres apprentissages, iii) confronter leurs idées à celles des autres, iv) délimiter les questions que chacun poursuit v) mieux situer les questions de chaque groupe dans l'ensemble de l'investigation.

Ces activités sont répétées mais l'investigation – jamais terminée – doit forcément être interrompue, les productions finalisées et une synthèse des connaissances doit être faite par chacun des élèves en vue d'une évaluation certificative. C'est donc une phase d'institutionnalisation qui aide l'élève à prendre conscience de ce qu'il sait, ou doit savoir, à en délimiter les contours et le champ d'application.

*Schéma du découpage en sous-thèmes*

Chaque chapitre du programme est découpé en 4 sous-thèmes qui peuvent se recouper un peu qui sont traités en parallèle par 4 groupes d'investigation de 3 ou 4 élèves. Ce découpage est notamment justifié dans la structure coopérative pour créer l'interdépendance positive (Buchs, Filisetti, Butera, & Quiamzade, 2004) et fonde l'élément de design ED25 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs.

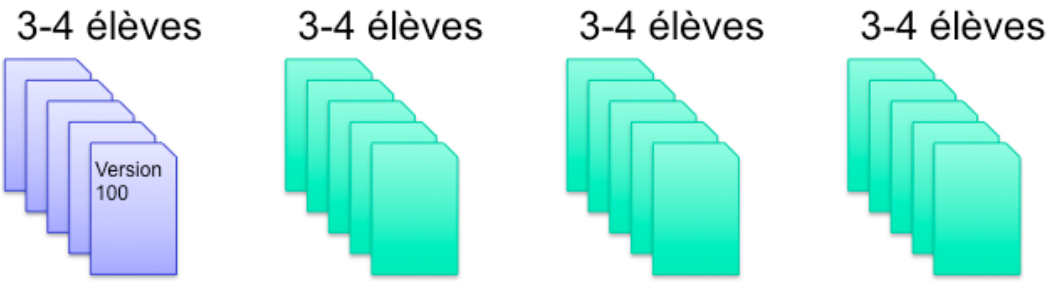



Figure 24 : Schéma des versions successives des productions dans le wiki et répartition des groupes d'investigation. Correspond à une investigation de 3 semaines environ.

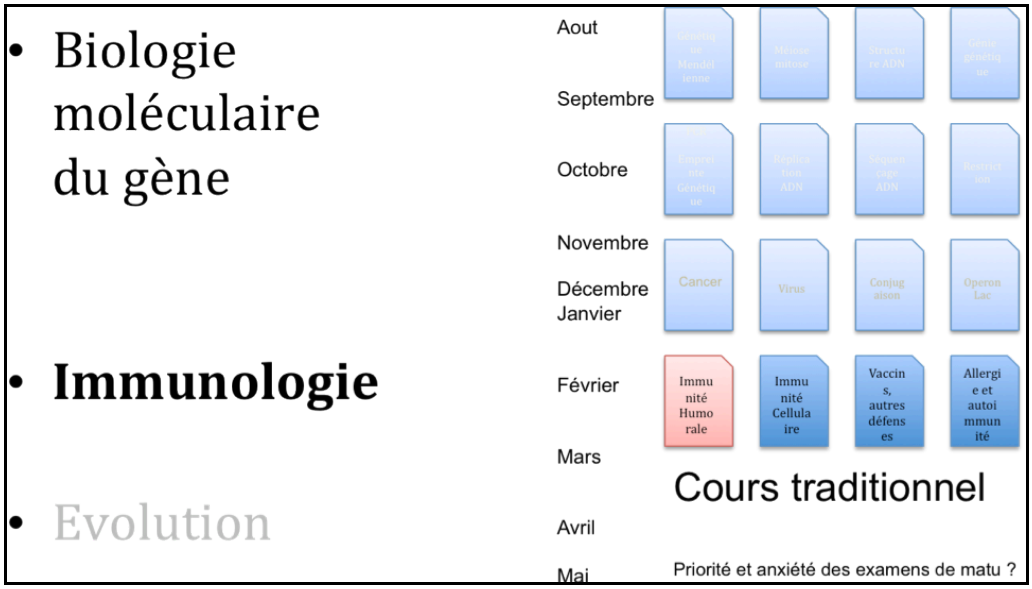



Figure 25 : Schéma de la succession des chapitres au cours de l'année et de la répartition des groupes d'investigation. L'immunologie est le chapitre qui termine le dispositif IBL, et donc sur lequel porte l'analyse de son potentiel. L'évolution est traitée de manière traditionnelle, à cause de la disponibilité réduite des élèves juste avant les examens finaux.

Par exemple, pour l'immunologie, un groupe d'investigation explore les mécanismes de l'immunité humorale ; un autre groupe explore ceux de l'immunité cellulaire, un troisième le mécanisme d'action des vaccins et les autres mécanismes de défense, alors que le quatrième groupe explore les mécanismes de l'allergie et de l'auto-immunité.

Ainsi chaque groupe est responsable envers les autres d'une partie des questions à traiter et dépend des autres pour le reste, aucun élève ne peut réaliser la tâche seul, ce qui constitue une interdépendance positive (IP) et dans laquelle chacun assume une responsabilité importante envers les autres (RI) (C. Buchs, et al., 2004).

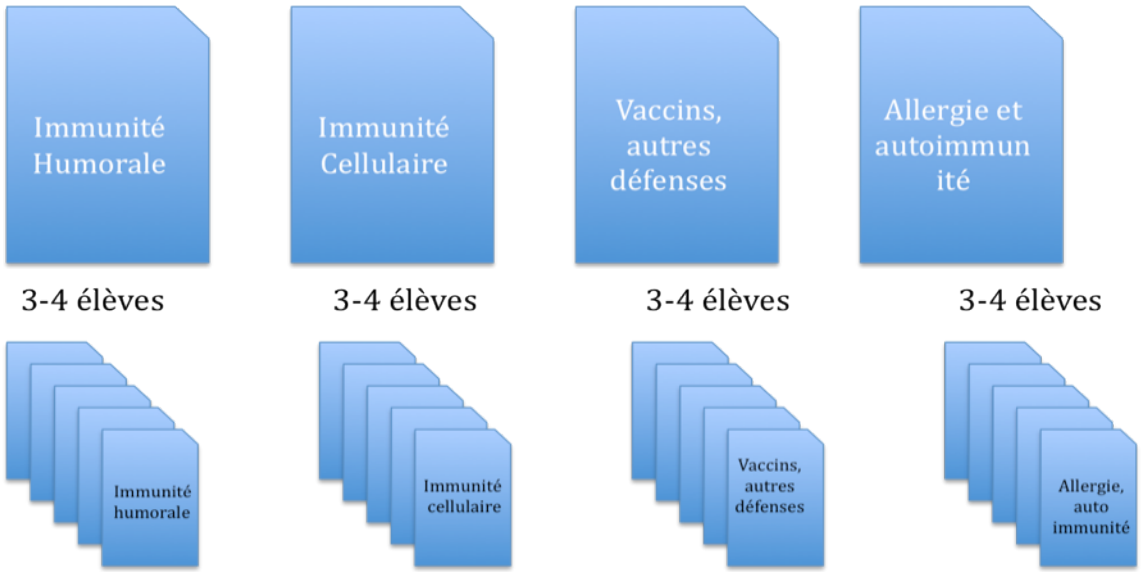



Figure 26 : Le découpage en thèmes et la répartition des groupes d'investigation. 3-4 élèves produisent par groupe environ 30 versions d'un document wiki sur un sous-thème qui finit par atteindre environ 3400 mots.

*Structure du site et du wiki qui supportent le dispositif*

La structure du site est hiérarchique avec des pages Web statiques pour chaque niveau professionnel de l'enseignant, un niveau pour les lieux d'activité (Collège Calvin), un niveau pour chaque type de classe (4OS), un niveau pour les types de ressources (Banque d'images, d'articles, répertoires thématiques, wiki) et un niveau pour chaque thème d'investigation (cf. Figure 27).

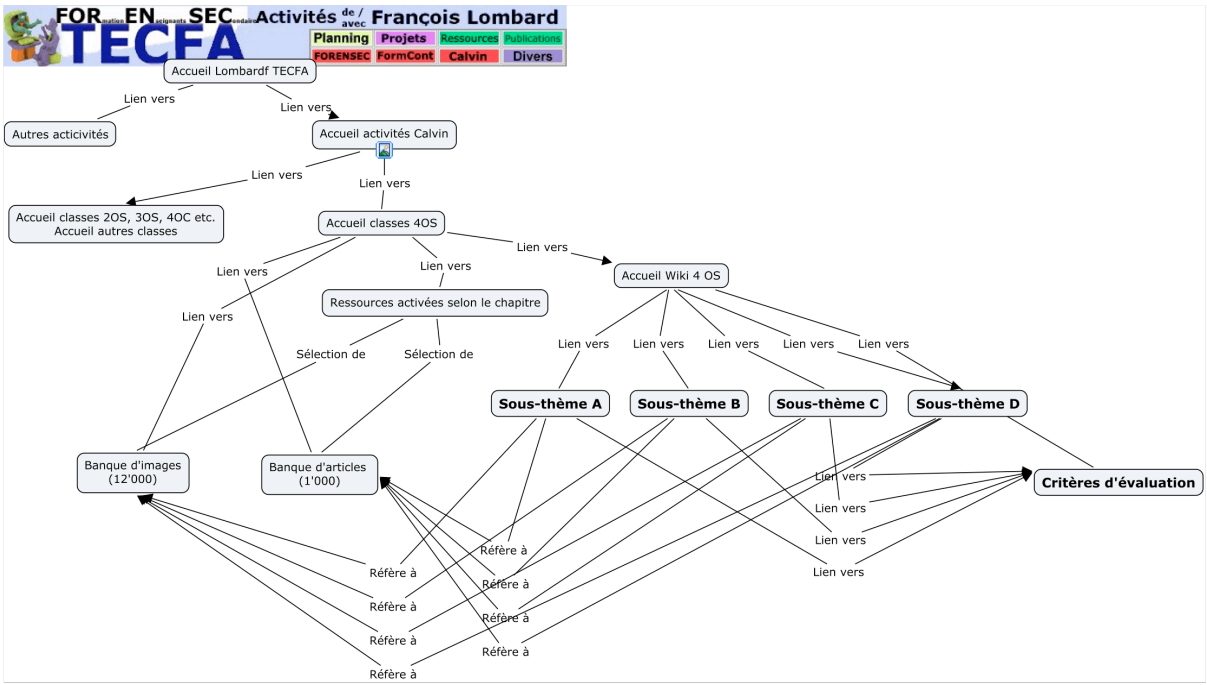



Figure 27 : Structure du site et des pages wiki concernant l'IBL étudié ici

Nous allons maintenant décrire en détail pour chacune des activités les différents rôles dans un tableau structuré de la manière suivant : i) rôle, ii) fonction (à quoi ce rôle sert dans le dispositif),

iii) qui l'endosse, iv) ressources et outils mis en œuvre, v) conditions de transition à l'activité suivante, vi) discussion vii) évolution au cours de l'année. Dans certains cas, certaines des rubriques qui ne sont pas pertinentes ne figurent pas.

*Tableau de synthèse des activités avec les rôles, fonctions et acteurs correspondants*

Pour faciliter la synthèse, nous avons rassemblé les rôles, fonctions et acteurs de chaque activité dans un tableau.

| N° activité | Description | Rôles dans l'activité | Fonction dans l'activité | Qui ? |
|---|---|---|---|---|
| I | Activité I Susciter des questions les enregistrer, les organiser | | | |
| 1 a | Susciter des questions les enregistrer, les organiser | Courtier en ressources de questionnement | Il s'agit de choisir et de mettre à disposition les ressources adaptées : articles, expériences ou observations qui interpellent. | Enseignant |
| 1b | | Organisateur conceptuel | Une fois les questions rassemblées, elles doivent être groupées et ventilées dans des sous-thèmes qui guideront l'investigation. | Enseignant |
| 1c | | Organisateur des groupes d'investigation | Former les groupes d'investigation. | Enseignant |
| 1d | | Gestionnaire d'attribution des sous-thèmes | Attribuer les thèmes d'investigation aux groupes d'investigation. | Enseignant |
| 1e | | Conservateur des questions. | S'assurer que les questions apparues ne se perdent pas et les rendre accessibles en tout temps. | Enseignant élève - coordinateur |
| | Activité II : Rechercher des réponses, réviser, approfondir concept | | | |
| II 2a | Rechercher des réponses | Concepteur de la structuration | Intervention préalable à l'activité. Afin de préparer l'activité de recherche, il s'agit de définir une structure pour les documents wiki destinée à étayer l'écriture. | Enseignant |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2b | | Gestionnaire de l'espace d'écriture | Crée les pages wiki et y introduit le canevas de structure, établit les liens entre les pages d'accueil, de gestion et d'organisation. Gère les accès restreints et les mots de passe. Détermine un système de nommage qui permette d'identifier les pages de cette investigation parmi les autres pages dans le même wiki. | Enseignant |
| 2c | | Rassembler et gérer les ressources bibliographiques et iconographiques | Sélection des ressources pertinentes en anticipant les besoins des élèves, les obstacles pour lesquels ils auront besoin d'être bousculés, les difficultés pour lesquelles ils auront besoin d'être soutenus. Faciliter leur mise à disposition par la digitalisation et le stockage sur un serveur. | Enseignant |
| 2d | | Documentaliste : cherche des ressources répondant aux questions d'investigation | Sur la base d'une question, sélectionner parmi les ressources (expériences, livres papier en classe ou à domicile, ouvrages sur internet, etc.) celles permettant de répondre, y trouver des éléments de réponse, choisir les passages pertinents. | Elèves, par groupe de 3 ou 4. |
| 2e | | Investigateur – écrivain scientifique : Lire, comprendre, synthétiser, écrire | Faire la synthèse de documents très hétérogènes et parfois complexes. Nous avons choisi de rassembler en un rôle *lire, comprendre, synthétiser et écrire,* pour assurer que les élèves pratiquent réellement la synthèse issue d'un choix des ressources et non une simple réécriture – une compilation. (Bereiter & Scardamalia, 1987) distinguent une écriture d'expression et une écriture de transformation de connaissances. | Elèves, par groupe de 3 ou 4. |
| 2d | | Organisateur de TP, de sortie, courtier *broker* de ressources | Lors des activités de laboratoire, un matériel expérimental doit être mis à disposition en amont et son usage décrit, les consignes de sécurité doivent être décrites et imposées. | Assistant technique, Enseignant |
| 2f | | Conseiller scientifique pour la compréhension des textes, régulateur de l'activité | Aide à voir, manipuler, repérer les éléments importants, veille à ce que les questions soient notées. Aide à formuler les questions. | Enseignant |
| 2g | | Mémoire des questions et des textes, diffuseur aux membres de la communauté. | Conserver les questions et les réponses qui apparaissent dans les discussions, les présentations et les lectures, d'en permettre l'accès en tout temps aux participants. | Enseignant puis élève-coordinateur |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2h | | Indicateur de l'état d'avancement et d'implication des autres. | Rendre visible le travail des participants, l'état d'avancement du texte à tout moment, manifester la réalisation des consignes – ou non – par chacun. | Wiki et le gestionnaire du wiki |
| 2i | | Garant de l'adéquation du texte aux consignes. | Vérifier que les règles d'écriture, notamment la règle d'unicité conceptuelle des questions réponses est bien appliquée, que la structure du document est bien implémentée, les faire respecter. | Enseignant puis élève-coordinateur |
| 2j | | Garant de l'adéquation conceptuelle aux paradigmes de recherche et scolaires | Vérifier que les textes sont « justes » c'est-à-dire que les questions et les réponses correspondent aux savoirs institutionnalisés dans l'école et au paradigme de la recherche | Enseignant puis élève-coordinateur |
| III | Activité III Echéance, consolidation, évaluation | | | |
| 3a | Echéance, consolidation, évaluation | Responsable pédagogique organisateur | Etablir des « devoirs », définir les échéances, donner les consignes adéquates, vérifier leur application. | Enseignant |
| 3b | | Régulateur du fonctionnement des groupes d'investigation | Intervenir lors de dysfonctionnements de groupes pour mettre en évidence les effets des actions ou l'absence d'action de chacun en vue d inciter chacun à endosser ses responsabilités. | L'enseignant, puis les élèves |
| 3c | | Evaluateur | Evaluer (formatif, certificatif) les productions des élèves. | Enseignant |
| 3d | | Manager d'échéances, gestionnaire du rythme de progression | Fixer et faire respecter les échéances vérifier que les tâches sont effectuées Vérifier que les consignes et les critères sont bien diffusés et compris, gérer les situations particulières. | Enseignant |
| IV | Activité IV : Présenter aux pairs et redéfinir les questions | | | |
| IV 4a | Présenter aux pairs et redéfinir les questions | Présentateur d'un groupe d'investigation | Un groupe d'investigation présente l'essentiel de leur sous-thème : ils commentent et expliquent les mécanismes centraux. | Elèves d'un groupe d'investigation. |
| 4b | | Gestionnaire du temps | Gérer le temps des exposés, veiller à un temps de parole égal entre les groupes. | Enseignant puis élèves |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4c | | Coordinateur | Organiser l'ordre des présentations, prendre note des changements issus de la présentation concernant la contribution du groupe d'investigation | Enseignant puis élèves |
| 4d | | Garant de l'exactitude par rapport paradigme scientifique | Veiller à l'adéquation par rapport aux modèles de consensus scientifique et le niveau de formulation à atteindre. | Enseignant puis élèves |
| 4e | | Pilotage conceptuel | Repérer les erreurs, les concepts manquants, les incohérences intra et intertextes, le vocabulaire non stabilisé, délimiter les champs, etc. | Enseignant puis internalisation par les élèves |
| 4f | | Pilotage relationnel | Maintenir la résolution des conflits et confrontations dans le plan épistémique, repérer les dysfonctionnements dans les groupes et intervenir pour les résoudre dans le cadre de la structure coopérative. | Enseignant puis internalisation par les élèves |
| V | Activité V : Institutionnalisation et évaluation de l'investigation. | | | |
| V 5a | Institutionnalisation et évaluation de l'investigation. | Editeur, diffuseur de la brochure et organisateur d'événement | La brochure est simplement imprimée telle qu'elle apparaît dans le wiki, et une page de titre y est ajoutée avec la mention des élèves y ayant participé et des images évoquant les thèmes traités. | Enseignant et partiellement élèves. |
| 5b | | Apprenant : synthétiser les savoirs de l'investigation en connaissances personnelles | Apprendre : synthétiser en connaissances personnelles les savoirs acquis dans les activités et ceux exprimés dans la brochure, en préparation de l'examen. | Elèves individuellement |
| 5c | | Responsable de la certification | Préparer des questions d'examen qui sont conformes aux exigences des plans d'étude, tout en étant alignées avec les objectifs et les activités réalisées, évaluer les examens des élèves selon ces critères. | Enseignant |

Tableau 5 : Tableau de synthèse des activités avec les rôles, fonctions et acteurs correspondants

Voyons maintenant chacune de ces activités en détail.

### 6.1.4 **Activité I : Susciter des questions les enregistrer, les organiser**

Cette activité commence le cycle d'investigation, elle vise à ce que les élèves s'approprient des questions qui amorceront l'investigation. Nous avons construit la conjecture que ces questions doivent appartenir aux élèves, c'est-à-dire qu'ils aient l'envie d'en connaitre la réponse, qu'ils les aient comprises, qu'ils aient une compréhension suffisante du domaine pour que la question ait du sens pour eux. Il en résulte que ces questions seront assez vagues au début, à l'image des conceptions de départ qu'ont les élèves. Nous avons vu avec (Hintikka, 1992) et les

implémentations précédentes ont confirmé que ces questions vagues peuvent conduire vers les questions pertinentes (dans le paradigme scientifique et par rapport aux plans d'étude).

| | |
|---|---|
| Rôle 1a : | Courtier en ressources de questionnement. |
| Fonction 1a : | Il s'agit de choisir et de mettre à disposition les ressources adaptées : articles, expériences ou observations qui interpellent. |
| Qui 1a : | Enseignant. |
| Ressources et outils 1a : | Ce peut être aussi des activités de laboratoire ou des observations de terrain, des médias audio-visuels multimédia. |
| Discussion 1a : | Nous avons construit plus haut la conjecture qu'il faut chercher des ressources capables de surprendre les élèves, qui les fascinent et dans lesquelles « leurs conceptions du contenu qui se trouvent prises à rebours » (Astolfi, 2008 p. 121). Il s'agit de documents assez vulgarisés, souvent sensationnalistes. Même si nous avons vu que la vulgarisation comme la transposition transforme les savoirs qui perdent une grande partie de l'épaisseur métacognitive, ce n'est pas un problème ici. Le critère important est que les élèves soient personnellement touchés, que les élèves se sentent impliqués et que ces textes suscitent l'envie de savoir, même par des questions assez vagues voire un peu en marge du paradigme. Il n'est pas gênant que le document ne fournisse pas beaucoup de réponses. C'est donc un document qui est souvent écarté du choix des enseignants comme « pas sérieux » comme les journaux gratuits, presse de vulgarisation sensationnaliste. |

| | |
|---|---|
| Rôle 1b : | Organisateur conceptuel. |
| Fonction 1b : | Une fois les questions rassemblées, elles doivent être groupées et ventilées dans des sous-thèmes qui guideront l'investigation. |
| Qui 1b : | Enseignant. |
| Discussion 1b : | Le rôle nécessite une très bonne connaissance de la structure des savoirs et des difficultés d'apprentissages telles que les conceptions obstacles afin d'équilibrer les sous-thèmes. Nous conjecturons qu'il est opportun que les thèmes se recouvrent un peu afin de faciliter l'assimilation des savoirs des autres sous-thèmes dans les documents et présentations des autres groupes d'investigations. C'est à ce moment que la couverture incomplète du sujet par les questions des élèves est particulièrement manifeste : ils sont encore très peu compétents sur le thème. L'activité qui suscite les questions pourrait être prolongée pour faire apparaître plus de questions, mais comme nous avons vu que l'investigation peut guider les élèves vers de meilleures questions et assurer une couverture complète du champ curriculaire, ce n'est pas nécessaire. En effet, nos résultats montrent qu'on peut se satisfaire – à ce stade – de questions vagues et incomplètes pour autant qu'elles motivent – au sens guider – l'investigation des élèves : qu'elles soient les leurs et qu'ils les aient comprises. |

| | |
|---|---|
| Rôle 1c : | Organisateur, RH pour les groupes d'investigation. |

| | |
|---|---|
| Fonction 1c : | Il s'agit de former les groupes d'investigation. |
| Qui 1c : | Enseignant. |
| Ressources et outils 1c : | Les groupes sont rappelés dans la page d'accueil du wiki. |
| Discussion 1c : | La classe est découpée en 4 groupes – un nombre qui produit des groupes de 3 ou 4 élèves vu que les cours de science expérimentale se donnent en groupes à effectifs réduits mais aussi compatible avec le découpage conceptuel des chapitres. Bien que la littérature suggère que ce soit un paramètre important, nous n'avons pas vu – ou su maitriser – ces effets et par parcimonie, nous conjecturons qu'un choix arbitraire (alphabétique, aléatoire) est satisfaisant. Une discussion des raisons qui ont mené au cours des implémentations du dispositif à ce choix figure plus bas. |
| Evolution au cours de l'année 1c : | Lorsque le groupe le demande, à la fin d'une investigation, les groupes ont parfois été changés. Mais en général cela n'a pas été nécessaire. |

| | |
|---|---|
| Rôle 1d : | Gestionnaire d'attribution des sous-thèmes. |
| Fonction 1d : | Attribuer les thèmes d'investigation aux groupes d'investigation. |
| Qui 1d : | L'enseignant propose, les élèves disposent. |
| Ressources et outils 1d : | Les thèmes et leur attribution sont rappelés dans la page d'accueil du wiki. |
| Discussion 1d : | Dans la mesure ou le thème (Immunologie par exemple) est découpé en sous-thèmes sur lesquels les élèves vont travailler longtemps et que les sous-thèmes peuvent paraître plus attractifs ou plus difficiles, la manière dont ils sont attribués peut influencer fortement l'implication des élèves et le fonctionnement du dispositif. Dans le dispositif final, c'est l'enseignant qui propose un découpage arbitraire, puis les élèves acceptent ou discutent et choisissent une autre répartition. |
| Evolution au cours de l'année 1d : | Nous conjecturons qu'au début de l'année il faut laisser le choix aux élèves, pour maintenir la motivation, mais qu'au cours de l'année un choix arbitraire (alphabétique, aléatoire) est satisfaisant. |

| | |
|---|---|
| Rôle 1e : | Conservateur des questions. |
| Fonction 1e : | S'assurer que les questions apparues ne se perdent pas et les rendre accessibles en tout temps. |
| Qui 1e : | Enseignant, élève – coordinateur. |
| Discussion 1e : | Le wiki est l'espace d'écriture où celui qui endosse ce rôle reporte les questions et où ces dernières sont conservées et mises à disposition en tout temps et en tout lieu.<br>Nous avons discuté plus haut combien l'école est traditionnellement centrée sur les réponses attendues plus que les questions des élèves. Il en résulte que les questions suscitées par les activités risquent d'être perdues si rien n'est organisé pour les conserver, les élèves n'ayant pas l'habitude de leur accorder |

| | |
|---|---|
| | une importance particulière.<br>Effectivement, nous avons observé à plusieurs reprises que des questions pertinentes ont été égarées, oubliées et n'ont donc pas pu jouer leur rôle de guider l'investigation. Nous avons vu les élèves s'intéresser aux questions le temps d'en obtenir une réponse qui satisfasse leur curiosité ou qui paraisse adéquate pour l'évaluation, mais n'être plus capables de les restituer lors des séances suivantes. Même lors des présentations intermédiaires tard dans l'année, des questions apparues se sont perdues.<br>La fonction d'autorité pédagogique de l'enseignant est ici nécessaire pour imposer des tâches et un contrat didactique qui ne sont pas habituels. La disponibilité dans le wiki des questions en tout temps et en tout lieu permet d'étendre cette influence pédagogique dans les espaces-temps des élèves. En effet, les élèves travaillent souvent le soir tard. La Figure 20 confirme par exemple que trois élèves ont travaillé sur le même document wiki depuis 19h41 jusqu'à 23h46. Il s'agit typiquement des moments d'activité III où une échéance pousse à la finalisation en vue d'une note.<br>Nous conjecturons donc qu'il faut prévoir dans le dispositif des modalités d'enregistrement et de mise à disposition des questions dans un espace d'écriture partagé (ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur). |
| Evolution de la conjecture au cours de l'année 1e : | Depuis 2006, un rôle d'élève-coordinateur par groupe d'investigation a été introduit : il doit noter les nouvelles questions ou leur reformulation apparues dans les confrontations notamment lors des présentations intermédiaires. Au début de l'année, l'enseignant prend en charge ce rôle en notant les questions ou en les dictant à un élève qui les note dans le wiki devant la classe, ensuite il les attribue chacune à un élève qui doit les noter dans le wiki, puis aux cours de l'année, ce rôle est dévolu à l'élève-coordinateur qui les prend en charge et les note dans le wiki. Ce rôle est attribué à chacun par rotation. |

### 6.1.5 **Conditions de transition à l'activité suivante I ->II**

Cette première activité est pilotée de manière à faire apparaître un grand nombre de questions, on y veille à susciter et à maintenir la dévolution : en d'autres termes la qualité des questions (adéquation aux paradigmes de recherche ou scolaires) se place très clairement au second plan des priorités. Elle doit être poursuivie jusqu'à ce que les élèves soient bien impliqués dans des questions. Plus que l'exhaustivité de la liste des questions, c'est à ce stade principalement l'investissement par les élèves des questions qui sont déterminantes. La frontière entre cette activité et la suivante est en général assez floue et les élèves ne perçoivent pas forcément cette transition. Ce qui change est principalement le type de documents qui sont proposés aux élèves.

### 6.1.6 **Activité II Recherche de réponses**

Le but pour les élèves est la recherche de réponses, mais la règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses les conduit à faire apparaître de nouvelles questions. Cette activité est pilotée dans la première phase de l'investigation en examinant principalement les questions, on y veille à susciter et maintenir la dévolution : en d'autres termes, on vise un nombre de questions et une couverture de l'ensemble du champ conceptuel, plus que la qualité de ces questions (adéquation aux paradigmes de recherche ou scolaires), qui n'est pas un critère de passage à la phase suivante. Lors des phases suivantes dans cette activité, l'accent se déplace progressivement sur la

qualité des réponses et l'ajout de nouvelles questions est plutôt découragé pour laisser à l'activité IV la régulation des questions.

| | |
|---|---|
| Rôle 2a : | Concepteur de la structuration |
| Fonction 2a : | Intervention préalable à l'activité. Afin de préparer l'activité de recherche, il s'agit de définir une structure pour les documents wiki destinée à étayer l'écriture *advance organiser (Ausubel, 1960)*. |
| Qui 2a : | Enseignant |
| Ressources et outils 2a : | Chaque document wiki est constitué avec un canevas lors de sa création. L'espace d'écriture propose donc aux élèves, dès l'ouverture de leur page d'investigation, une structure qui guide leur écriture. |
| Discussion 2a : | Nous avons formé la conjecture qu'un étayage qui impose une structure (Bruner, Deleau, & Michel, 1983) peut aider les élèves à organiser les concepts *advance organiser (Ausubel, 1960)* et étayer l'écriture (Reiser, 2004). Nous avons donc défini un canevas inspiré de la structure classique des écrits scientifiques et académiques qui constitue un fond de page dont les rubriques définissent la structure du document final, les champs qui doivent être renseignés (Principe, Définitions, Mécanisme détaillé, Potentiels et limites, Auteurs, Bibliographie, Liens) établissent une certaine unité d'ensemble et permettent de situer le statut les pages. Cf. Annexe : Canevas structurant les documents wiki. Cette structure contextualise ces documents, et définit leurs auteurs et leur statut comme un lieu de construction de connaissance et non comme une référence scientifique. En effet, comme ces documents sont sur internet, visibles des parents, des écoles, d'autres élèves et accessibles depuis un moteur de recherche jusqu'en 2009, nous avons discuté plus haut du souci de mauvaise interprétation de ces pages (Horman, 2005) si elles sont vues comme un reflet de la qualité de l'enseignement : notamment si elles sont vues comme une référence scientifique, un « polycopié » notamment par des parents, collègues, directions, associations et lobbies qui pourraient remettre en question la qualité du travail de l'enseignant. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2b : | Gestionnaire de l'espace d'écriture |
| Fonction 2b : | Crée les pages wiki et y introduit le canevas de structure, établit les liens entre les pages d'accueil, de gestion et d'organisation. Gère les accès restreints et les mots de passe. Détermine un système de nommage qui permette d'identifier les pages de cette investigation parmi les autres pages dans le même wiki. |
| Qui 2b : | Enseignant. |
| Ressources et outils 2b : | Le wiki est géré sur un serveur à TECFA et son administration réduite aux fonctions essentielles.<br>Les noms de page wiki sont gérés selon un codage permettant de les retrouver dans un espace wiki aussi utilisé par d'autres : Calwiki*ThemeDinvestigation*10 par exemple.<br>Un espace de dépôt de ressources réservé aux classes constitue un intranet. Dans cet espace, la base de donnée d'images (environ 4000) et les articles et |

| | |
|---|---|
| | textes en pdf (plus de 1000) sont mis à disposition par dépose via un système de transfert de fichiers[18] dans les dossiers correspondants sur le serveur. Un système d'album (cf. Figure 14) permet de présenter les images sous forme de planche contact et déclinées en 3 tailles. |
| Discussion 2b : | La mise en place et l'administration du wiki sont réduites, seules les affordances de base sont activées et employées : édition, sauvegarde, historique, comparaison de versions, affichage des changements récents. La complexité du dispositif réside dans l'organisation hors de l'artefact. Un système d'album a été organisé afin de simplifier l'administration : le simple dépôt des images dans des dossiers thématiques les rend disponibles dans les 3 tailles et en limite l'accès. Un travail de digitalisation et de recherche d'illustrations a été très important au début du projet. Leur capitalisation au cours des années et l'accès actuellement très facile à des images de qualité a rendu cette opération moins importante. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2c : | Rassembler et gérer les ressources bibliographiques et iconographiques |
| Fonction 2c : | Sélection des ressources pertinentes en anticipant les besoins des élèves, les obstacles pour lesquels ils auront besoin d'être bousculés, les difficultés pour lesquelles ils auront besoin d'être soutenus. Faciliter leur mise à disposition : la digitalisation et le stockage sur un serveur permettent de désigner une ressources par son URL.<br>Nous avions fait la conjecture que les élèves devraient être confrontés à de nombreuses ressources de qualité variée et que les feed-back devraient guider vers des ressources plus authentiques, ce qui nécessite un système de gestion très performant des ressources et un contenu soigneusement sélectionné. |
| Qui 2c : | Enseignant. |
| Ressources et outils 2c : | Les élèves disposent d'un ouvrage de référence prescrit au niveau de l'établissement (N. A. Campbell & Reece, 2004; Raven, Johnson, Losos, & Singer, 2007) selon les années dont une douzaine étaient disponibles en classe pour éviter aux élèves des transports incessants (ils pèsent environ 3 kg), et une demi-douzaine d'ouvrages de référence papier disponibles en classe tels que (B Alberts, et al., 2002; Parham, 2002; Purves, et al., 2001) en fonction des sujets. La digitalisation de ces documents s'est faite sur plusieurs années. Tout cela représente de l'ordre de deux cent heures pour les images et de l'ordre de 500 heures de lecture, repérage insertion et indication des liens. La gestion de ces liens et images est en constante mise à jour (on sait que 10% des liens ne fonctionnent plus chaque mois). |
| Discussion 2c : | L'investigation repose sur des sorties de terrain, des observations au microscope et des activités de laboratoire, notamment les kits BioUtils fournis par l'université de Genève pour permettre des expériences de génie génétique qui sont l'un des chapitres étudiés dans ce projet. Pour l'immunologie, il existe peu d'expériences réalisables en classe, aussi la plus grande partie de l'investigation se produit dans livres, magazines et des ouvrages on-line. Ce n'est pas une propriété de cet IBL, mais une particularité de ce chapitre de la biologie. On peut noter que pour l'immunologie, les élèves disposaient en classe d'un ouvrage |

[18] via le protocole très classique FTP, en version séurisée SFTP

| | |
|---|---|
| | francophone papier équivalent du Janeway, le (Parham, 2002) qui utilise la même iconographie. Nous ne distinguerons pas ces deux ouvrages dans la suite de la description et les élèves les utilisaient selon les disponibilités avec une préférence pour la version francophone quand c'était possible : en général ils se précipitaient pour l'avoir en premier.<br>Nous avons vu que le dispositif repose sur une très abondante collection de ressources électroniques : plus de 1000 articles digitalisés, plus de 1200 liens organisés dans des répertoires permettant de très rapidement retrouver et fournir la ressource qui semble nécessaire pour confronter les connaissances des élèves, et d'insérer un lien dans le wiki pour y guider les élèves directement. Près de 4000 images digitales groupées par thèmes permettant l'insertion dans les documents wiki à partir de la base de données d'images.<br>Une grande réactivité et une maitrise des outils informatiques qui soutiennent cette gestion sont nécessaire. |

| | |
|---|---|
| Rôle2d : | Documentaliste : cherche des ressources répondant aux questions d'investigation. |
| Fonction 2d : | Choisir – en partant d'une question – parmi les ressources (expériences, livres papier en classe ou à domicile, ouvrages sur internet, etc.), y chercher une réponse, puis choisir des passages pertinents en vue de produire un texte pour faciliter aux pairs la préparation de l'examen. |
| Qui 2d : | Elèves, par groupe d'investigation à 3 ou 4 élèves. Il y a en général 4 groupes. |
| Ressources et outils 2d : | La base de données d'images et de texte préparés par l'enseignant dans le cadre du dispositif, des liens reportés dans les documents wiki, les répertoires thématiques, et bien sûr aussi l'ensemble des ressources qu'offre internet via les habituels moteurs de recherche. |
| Discussion 2d : | Nous avons discuté plus haut avec (Rouet, 2006) que la sélection de documents est une phase distincte et préliminaire à la recherche et qu'elle dépend de la compréhension conceptuelle de l'élève et du contrat didactique.<br>Nous avons formulé la conjecture qu'il ne fallait pas décourager l'accès à des ressources nombreuses, hétérogènes en niveau de formulation, en vocabulaire, en langue anglaise parfois, en posture énonciative et en cadre conceptuel de référence très différents. Cette hétérogénéité implique un travail de confrontation cognitive qui est très difficile mais très pertinent pour développer la connaissance scientifique. Les élèves n'ont pas été limités à une sélection prescrite de documents de qualité mais encouragés à utiliser l'abondance de ressources dans la classe et sur internet.<br>Les élèves ont donc été laissés libres de choisir leurs sources, mais les feed-back de l'enseignant indiquent une source possible pour la réponse ou indiquent un désaccord avec une référence : dans les deux cas, l'incitation guide vers une ressource plus authentique (Campbell, Janeway on-line par exemple).<br>Ce rôle se produit en classe, mais aussi – et sans doute principalement – hors de classe, à la maison ou en bibliothèque sous forme de devoirs à domicile. |
| Evolution du rôle 2d au cours de | Nous avons vu que ce rôle implique un travail de confrontation cognitive très pertinent mais difficile et qu'il nécessite un étayage très solidement structurant au début, sous la forme de guidage au début pour les questions et la sélection |

| | |
|---|---|
| l'année | des ressources, de soutien à la motivation par la responsabilité face aux pairs et les notes sur les productions, l'indication des critères de qualité scientifique des réponses dans les feed-back. (C'est-à-dire « réduction des degrés de liberté »« maintien de l'orientation » « signalisation des caractéristiques déterminantes » (Bruner, 1960)). Au début de l'année, ils reçoivent des numéros de pages de leurs ouvrages de référence (N. A. Campbell & Reece, 2004; Raven, et al., 2007), plus tard des ressources plus avancées sont présentées en classe, mais ils sont laissés libres d'y recourir ou non, mais les feed-back et les demandes d'aide pour trouver les réponses sont donnés sur la base de ressources les plus authentiques possibles. Progressivement, les feed-back sont la seule incitation qui oriente le choix des élèves devenus assez autonomes. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2e : | Investigateur – écrivain scientifique : lire, comprendre, synthétiser, écrire. |
| Fonction 2e : | Faire la synthèse de documents très hétérogènes et parfois complexes. C'est naturellement un des rôles centraux du dispositif. Nous avons discuté plus haut de la nécessité de rassembler en un rôle lire, comprendre, synthétiser et écrire, pour assurer que les élèves pratiquent réellement la synthèse issue d'un choix des ressources et non une simple réécriture – une compilation. |
| Qui 2e : | Elèves par groupe d'investigation de 3 ou 4. |
| Ressources et outils 2e : | L'espace d'écriture wiki étaye l'activité des élèves dans ce rôle en enregistrant les états intermédiaires de leur investigation (effet que nous avons discuté plus haut et nommé *anti-Sisyphe*) |
| Discussion 2e : | En nous inspirant de la littérature *Writing-to-learn*, nous avions fait la conjecture qu'un processus d'écriture adéquatement structuré pouvait étayer la synthèse et susciter une forme d'argumentation par le conflit cognitif que les sources différentes peuvent créer (CJ5). De ce fait, il importe que le choix des questions détermine effectivement les réponses recherchées : c'est parce que la réponse ne se trouve pas telle quelle dans les activités ou les documents que la question oblige à la synthèse de textes lus. Si l'élève peut simplement résumer des réponses, il pratique des activités cognitives de plus bas niveau que si on l'oblige à synthétiser (cf. discussion section 4.4.6 (p. 123)).<br><br>Ce rôle implique un travail de confrontation cognitive qui est très difficile mais crucial pour la construction de connaissance scientifique, et le fait de laisser les élèves sélectionner, synthétiser et écrire manifeste ce choix : c'est donc eux qui valident, synthétisent et résolvent les incohérences et les conflits cognitifs que l'enseignant signale ou qu'ils ont repérés eux-mêmes. Nous ne distinguerons pas ce rôle lorsqu'il se produit en classe entre personnes physiquement présentes et lorsqu'il se produit à domicile ou en bibliothèque. La disponibilité de ressources papier en classe et la présence de l'enseignant ne nous paraissent pas changer fondamentalement le rôle mais la manière dont il se réalise. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2d : | Organisateur de TP, de sortie, courtier *broker* de ressources. |
| Fonction 2d : | Lors des activités de laboratoire, un matériel expérimental doit être organisé et mis à disposition avant l'activité et son usage décrit dans des protocoles, les |

| | |
|---|---|
| | consignes de sécurité doivent être décrites et imposées. |
| Qui 2d : | Assistant technique, enseignant. |
| Ressources et outils 2d : | Un matériel adéquat qui permet des sorties de terrain, des observations au microscope et des activités de laboratoire, notamment les kits BioUtils fournis par l'université de Genève. |
| Discussion 2d : | La responsabilité pédagogique revient à l'enseignant mais dans les collèges de Genève, un-e assistant-e technique prépare le matériel vivant et les appareils et s'occupe de leur entretien. Un assistant de laboratoire assiste l'enseignant pour aider les élèves dans les opérations techniques comme l'usage des électrophorèses ou le repérage sur des coupes microscopiques et aide à faire respecter les consignes de sécurité lors de l'usage de produits ou d'appareils dangereux. |
| Evolution au cours de l'année 2d | Pour l'immunologie, il existe peu d'expériences réalisables en classe, aussi la plus grande partie de l'investigation se produit dans livres, magazines et des ouvrages on-line. Ce n'est pas une propriété de cet IBL mais une particularité de ce chapitre de la biologie. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2f : | Conseiller scientifique pour la compréhension des textes, régulateur de l'activité. |
| Fonction 2f : | Aide à voir, manipuler, repérer les éléments importants, veille à ce que les questions soient notées. Aide à formuler les questions. |
| Qui 2f : | Enseignant. |
| Ressources et outils 2f : | L'intervention se fait soit en classe, par oral, lors de phases de recherche, par écrit sur papier lors des feed-back sur les wikis ou par intervention en commentant dans le wiki. |
| Discussion 2f : | Par exemple, après une explication d'un mécanisme complexe (celui des micro-array en génétique moléculaire) un groupe d'élèves dit : « Ok nous avons compris, pouvez-vous nous indiquer une source pour référencer dans notre texte ? » élèves 3OS mai 2005. Cette remarque met bien en évidence que ces élèves distinguent bien le rôle d'aide à comprendre – l'autorité pédagogique qu'ils recherchent auprès de l'enseignant – de la validation en vue de la synthèse pour laquelle ils recherchent une autorité scientifique auprès d'une ressource plus authentique. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2g : | Mémoire des questions et des textes pour leur capitalisation et diffuseur aux membres de la communauté. |
| Fonction 2g : | Conserver les questions et les réponses qui apparaissent dans les discussions, les présentations et les lectures, d'en permettre l'accès en tout temps aux participants. |
| Qui 2g : | Enseignant puis élève-coordinateur. |
| Ressources et outils 2g : | Wiki<br>L'espace d'écriture wiki est à la fois un lieu de conservation, d'écriture et de diffusion. Ce qui y est écrit est conservé, ne peut pas être effacé et est immédiatement disponible aux autres dès la sauvegarde sur le serveur. |

| | |
|---|---|
| Discussion 2g : | Ce rôle est très proche de celui défini plus haut pour l'activité 1 : « S'assurer que les questions apparues ne se perdent pas et les rendre accessibles en tout temps. » : c'est le wiki – et ses gestionnaires qui l'ont mis en place – qui joue ce rôle de mémoire et de partage permettant l'accès en tout temps. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2h : | Indicateur aux membres de la communauté de l'état d'avancement et d'implication des autres. |
| Fonction 2h : | Rendre visible le travail des participants, l'état d'avancement du texte à tout moment, manifester la réalisation des consignes – ou non – par chacun. |
| Qui 2h : | Wiki et le gestionnaire du wiki.<br>Les affordances du wiki et la manière de le gérer résultent de l'action des concepteurs du wiki et des règles instituées par le gestionnaire. |
| Ressources et outils 2h : | Le wiki manifeste en temps presque réel l'activité d'écriture : dès que le document est sauvé, le prochain accès à la page est à jour. L'historique permet de voir qui est intervenu et quand. Il permet aussi de comparer deux versions pour disséquer la contribution de chacun sans devoir lire l'ensemble. |
| Discussion 2h : | Nous avions conjecturé que la conscience que les autres travaillent serait un facteur de l'implication des élèves. Comme l'implication nécessaire dans le dispositif est très forte et que les indices habituels de l'activité des autres sont absents lors du travail hors de classe notamment à domicile, l'importance de ces signes de conscience de l'activité des autres est très grande : les élèves ont souvent indiqué qu'ils observent si les autres du groupe d'investigation ont fait leur part dans le wiki et que cela influence leur investissement. La signature de l'intervention permet de manifester l'auteur des interventions dans l'historique (cf. Figure 20) et responsabilise les élèves.<br>Du coté de l'enseignant, le fait de pouvoir surveiller aisément ce qui se passe dans l'espace d'écriture (fonction d'affichage des changements récents) permet de détecter des problèmes et permet à l'autorité pédagogique de s'exercer de manière plus rapide et sur la base de constats objectifs. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2i : | Garant de l'adéquation du texte aux consignes. |
| Fonction 2i : | Vérifier que les règles d'écriture, notamment la règle d'unicité conceptuelle des questions réponses, sont bien appliquées, que la structure du document (chapitres, légendes des images, référencement, etc.) est bien implémentée. |
| Qui 2i : | L'enseignant au début, progressivement dévolu aux élèves et à l'élève-coordinateur |
| Ressources et outils 2i : | Les interventions se font par oral, par e-mail mais souvent dans le wiki. |
| Discussion 2i : | Il est notamment important de vérifier que les réponses – indépendamment de leur qualité – sont bien en rapport avec la question. Pour éviter que ce soit la réponse trouvée qui guide l'investigation vers ce qui est facile à trouver et obliger à l'affinage conceptuel.<br>Ce rôle est différent du garant de l'adéquation conceptuelle aux paradigmes de recherche et scolaires comme discuté sous 2j. Au cours d'un cycle d'investigation, l'exigence augmente et par exemple la tolérance pour des mots |

| | |
|---|---|
| | familiers est grande au début et dans l'activité IV d'institutionnalisation, ce rôle va exiger que les termes exacts soient utilisés. |
| Evolution au cours de l'année 2i | Au début, l'enseignant assume ce rôle pleinement, puis la nomination d'un coordinateur permet une dévolution de ce rôle – à l'ombre de l'enseignant qui supervise.<br>L'exigence d'adéquation augmente progressivement avec l'année : au début l'enseignant cherche surtout à encourager l'investissement et est assez tolérant. La règle d'unicité conceptuelle des questions réponses est la première à être appliquée avec insistance.<br>Progressivement la structure complète est exigée. On peut noter que de fait certaines règles ont été plus rigoureusement suivies comme la règle d'unicité conceptuelle des questions réponses, alors que d'autres règles concernant le référencement n'ont pas bien été suivies la plupart des années. On voit là une sorte de négociation informelle du contrat didactique qui révèle probablement l'acceptabilité différenciée de ces règles. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2j : | Garant de l'adéquation conceptuelle aux paradigmes de recherche et scolaires. |
| Fonction 2j : | Vérifier que l'investigation se produit bien dans le plan épistémologique défini par le paradigme courant, que les questions et les réponses sont celles qui y ont cours et de repérer les glissements conceptuels que les ressources trouvées peuvent induire. Il s'agit en somme de vérifier que les textes sont « justes », c'est-à-dire que les questions et les réponses correspondent aux savoirs institutionnalisés dans l'école et au paradigme de la recherche. |
| Qui 2j : | L'enseignant, puis internalisation partielle par les élèves et l'élève-coordinateur |
| Ressources et outils 2j : | Les interventions se font par oral, par mail mais souvent dans le wiki. |
| Discussion 2j | Nous avions fait la conjecture que le dispositif conduirait l'investigation vers les « bonnes » questions définies comme celles du paradigme et que cela conduirait les élèves vers des ressources authentiques pour y trouver les réponses. Nous avons également conjecturé que la validation devait venir des ressources expérimentales ou textuelles, et non de l'enseignant. Ce rôle est donc délicat.<br>C'est un rôle qui découle de l'autorité pédagogique et dont la responsabilité finale échoit forcément à l'enseignant qui est le garant – face à l'institution, aux élèves et aux parents – que le dispositif permet bien les apprentissages prévus dans les plans d'études.<br>Le souci d'autonomiser l'élève, de le conduire vers une validation scientifique implique forcément que ce rôle soit dévolu aux élèves tout en assurant une supervision. Ce paradoxe se résout, nous l'avons vu, si on distingue d'une part le repérage et la signalisation des « erreurs » (inadéquations au paradigme, incohérences, imprécisions, …) qui appartiennent à ce rôle 2j (Garant de l'adéquation conceptuelle) et d'autre part, la correction de ces erreurs qui doit être réalisée par les élèves afin de maintenir l'autorité de validation auprès des ressources. Mais les élèves doivent être incités à le faire, c'est le rôle 2i (garant de l'adéquation du texte aux consignes). Ainsi le dispositif distingue deux rôles de gestion, associés à deux formes d'interventions. Les |

| | |
|---|---|
| | interventions dans le rôle 2j (conceptuelles) se manifestent dans le texte, sont focalisées sur l'amélioration de la connaissance commune – argumentatives et épistémiques donc très peu personnelles. D'autre part, les interventions du rôle 2i (régulation sur l'investissement individuel et le respect des consignes) se produisent hors du texte (mail, convocation, entretien etc.) et se basent sur les traces – dans l'historique notamment – de l'activité de chacun où l'enseignant assume pleinement le poids de son autorité pédagogique. Une des incitations efficaces est le fait qu'un texte qui ne convient pas doit être récrit par son auteur (la responsabilité individuelle) ce qui incite chacun à assumer l'interdépendance positive.<br>De plus nous conjecturions et avons pu observer qu'un comportement coopératif peut résulter de l'effort de rectification par l'auteur lorsqu'un texte est signalé comme non conforme via la pression des camarades. En effet, lors des examens et notamment de l'activité IIIB de test du contrat didactique, lorsqu'un fragment de texte ne s'est pas avéré vraiment efficace pour préparer, l'élève qui en est l'auteur – ils savent bien qui a écrit quoi – a parfois été pris à parti par ses pairs. |
| Evolution du rôle au cours de l'année 2j : | Nous conjecturons que ces incitations à assumer la responsabilité individuelle finissent par être internalisées et que l'interdépendance positive rendrait à la longue les régulations par l'enseignant moins nécessaires et la communauté d'apprentissage prendre corps dans une autorégulation.<br>Au début, l'enseignant assume ce rôle pleinement et peut exceptionnellement corriger des textes avant l'impression de la brochure quand les élèves n'ont pas suivi les consignes, mais les élèves sont incités progressivement à prendre en charge cette validation par des feed-back plus légers, plus tardifs mais surtout par une intervention qui s'abstient de corriger pour se contenter de signaler les incohérences ou les imprécisions intra-document, inter-documents et avec les données ou les ressources authentiques. Enfin la nomination d'un coordinateur – dont c'est un des rôles – par groupe d'investigation permet d'expliciter cette dévolution. Naturellement l'enseignant reste le garant de la qualité des textes mais son rôle s'effectue de plus en plus discrètement, comme un filet de sécurité. |

| | |
|---|---|
| Rôle 2l : | Gestionnaire des demandes d'aide par les élèves. |
| Fonction 2l : | Il s'agit d'attribuer l'aide de l'enseignant aux élèves qui la demandent. Lors de ces activités d'investigation en classe, il s'est avéré que de nombreux élèves guettaient la disponibilité de l'enseignant et n'avançaient pas leurs recherches, réduisant l'efficacité d'ensemble. La nécessité de ce rôle en est issue. |
| Qui 2l : | L'enseignant, puis externalisation vers un artefact très simple. |
| Ressources et outils 2l : | Un simple jeu de cartons numérotés distribués aux élèves dès qu'ils ont besoin d'aide, puis appelés à tour de rôle les a rassurés qu'ils auraient leur tour d'aide par l'enseignant et leur a permis der retourner à leur investigation durant le temps d'attente. |
| Discussion 2l : | Suite à des suggestions de spécialistes de l'apprentissage coopératif (Buchs, 2007), ce rôle a été identifié, ce qui a permis de le dissocier de l'enseignant et a conduit à externaliser le rôle. C'est intéressant de noter que l'idée n'est pas courante dans l'enseignement, confirmant la difficulté des enseignants à |

| | |
|---|---|
| | dévoluer le contrôle des élèves (Bereiter, 2002). |

### 6.1.7 **Conditions de transition à l'activité suivante II -> III**

Cette activité doit être poursuivie jusqu'à ce que les élèves soient bien impliqués dans des questions dont la diversité couvre au moins partiellement la plus grande part du champ conceptuel. Certaines questions – qui nécessitent une connaissance assez approfondie du domaine – ne peuvent pas apparaître à ce stade. Cependant leur apparition découle de la connaissance des questions plus simples qui les suscitent. En effet nous discuterons plus bas que les questions vagues évoluent vers les plus précises comme la littérature le suggérait (Hintikka, 1992). On peut donc passer à l'activité suivante lorsque toutes les questions cruciales sont au moins en germe dans l'une des questions présentes. Plus que de viser à ce stade une couverture exhaustive, il s'agit d'éviter que des pans entiers du champ conceptuel soient ignorés.

Par exemple, la question cruciale de l'interaction des Lymphocytes $T_{régulateurs}$ (=T4) avec les lymphocytes $B_{naïfs}$ pour stimuler la différenciation en $B_{plasmocytes}$ qui produisent les anticorps et les $B_{mémoire}$ responsables de l'effet vaccin. Cette question ne peut être comprise par les élèves que lorsqu'une bonne compréhension des rôles et des types de Lymphocytes est acquise. Elle ne peut pas apparaître dans l'activité I. Mais la question « Comment les lymphocytes B fabriquent-ils les anticorps ? » la contient en germe.

Nous discutons plus bas en détail d'un exemple où justement cette question n'apparaît qu'au terme d'un cheminement inhabituellement tortueux. En effet, elle apparaît en 2009 seulement à la version 21, où on la trouve en germes dans deux questions :

> Qu'est-ce les lymphocytes B?
> Comment le "bon" lymphocyte se met-il à produire les Ac correspondant à un Ag ... ?[19]

Si ces deux questions sont assez mal formulées, elle appartiennent bien aux élèves, reflètent leurs conceptions et sont exprimées avec leurs mots. A ce stade, le maintien de leur dévolution est plus important que la précision du langage disciplinaire comme nous l'avons discuté plus haut : une insistance sur les termes exacts pourrait casser la dynamique d'une activité féconde (Hutchison & Hammer, 2010) pour la faire retomber le *classroom game* (Lemke, 1990).

Plus que l'exhaustivité de la liste des questions, c'est principalement l'investissement par les élèves des questions qui sont déterminants ainsi qu'une couverture même en pointillé qui ne laissent pas de grandes parties du champ conceptuel inexplorées.

Cependant, plus on s'approche de la fin de l'investigation, plus une couverture complète et la précision des questions prennent de l'importance.

Dans la version définitive (111) pour l'année 2009, la question mentionnée en exemple est effectivement devenue plus précise et a permis d'investiguer ce concept crucial. D'autres années, l'affinage conceptuel s'est produit nettement plus explicitement et la version finale distingue plusieurs questions très précises (par exemple 11 en 2010) pour développer cette interaction. Mais même en 2009 avec une question imparfaite, le groupe de 3 élèves a produit une réponse de bonne complexité épistémique (4 descriptions élaborées, 6 explications élaborées). Ainsi le passage à l'activité III peut se faire avec des questions encore imparfaites puisque cette activité est destinée à provoquer leur régulation.

---

[19] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09?version=21

Une condition supplémentaire pour que cette transition puisse se faire est une grande confiance de la part de l'enseignant et des élèves dans la capacité du dispositif à produire des savoirs de qualité à partir de questions assez vagues, afin de permettre à chacun de construire ses connaissances. (CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions)

### 6.1.8 Activité III : Echéance, consolidation, évaluation

Dans cette activité, une échéance oblige les élèves à produire un état d'aboutissement (temporaire) des documents wiki en vue d'une évaluation notée. Ce qui est visé est principalement que les connaissances partiellement formées chez les élèves soient formalisées dans l'espace d'écriture pour obliger à leur explicitation et permettre leur confrontation. C'est dans ces activités que l'investigation manifeste dans l'écriture partagée les constructions cognitives, les synthèses qui ont pu se produire par les lectures et qui échappent à l'observation par les autres. Il s'agit d'un étayage stimulant qui favorise le conflit socio-cognitif.

Ce sont les moments où l'activité dans le wiki est maximale, où les indicateurs d'activité comme nombre de mots, de questions augmentent le plus, où la formulation des questions change, où la progression de l'investigation est la plus manifeste : c'est une activité de consolidation au sens comptable de rassembler des informations éparses. Elle repose sur les activités antérieures qui produisent des changements supposés dans les connaissances des élèves, jusqu'alors invisibles pour les autres, hors de portée des interactions socio-cognitives et du potentiel cognitif de l'écriture.

Nous avions conjecturé que le fait d'écrire peut aider l'auteur à clarifier ses propres connaissances en les écrivant, mais aussi permet la mutualisation des savoirs et contribue ainsi doublement à la construction individuelle et sociale des connaissances dans la communauté d'apprenants. Comme elle manifeste l'expression des connaissances, elle est aussi le moment privilégié de l'évaluation des savoirs dans l'artefact. L'évaluation poursuit un double but formatif et certificatif : constat de l'état des savoirs reflétant les connaissances produites permettant la régulation et la mutualisation, mais aussi établissement de notes attribuées aux élèves. Ces activités de consolidation permettent en somme de « marquer l'essai » préparé par les activités précédentes de recherche et prépare l'activité suivante de confrontation qui finit un tour et commence le tour suivant d'investigation. Ainsi ces moments manifestent et relancent l'investigation.

| | |
|---|---|
| Rôle 3a : | Responsable pédagogique organisateur. |
| Fonction 3a : | Etablir des « devoirs », définir les échéances, donner les consignes adéquates, vérifier leur application. |
| Qui 3a : | Enseignant. |
| Ressources et outils 3a : | Les interventions se font par oral lors des cours, par e-mail mais toujours rappelées dans la page d'accueil du wiki. |
| Discussion 3a : | L'usage des consignes a été inspirée du minimalisme de (Carrol, 1998), du constat que les élèves appliquent des stratégies de leur « métier d'élève » (Perrenoud, 2004) et du constat des réductions qui s'opèrent entre l'intention pédagogique et les activités cognitives effectivement réalisées (Bereiter, 2002). Nous conjecturons que si la formulation et la communication de la consigne importe (elle doit être claire et correspondre à ce qui est attendu), c'est avant tout les effets observés par les élèves lors de la réalisation des tâches et des effets d'une réalisation imparfaite ou incomplète qui détermine comment le contrat |

| | |
|---|---|
| | didactique évolue. Cette conjecture contribue à fonder un élément de design (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves). Sur le plan de l'implications, c'est, parmi d'autres facteurs notamment intrinsèques, ce qui est évalué, sanctionné, encouragé, ce qui facilite ou qui augmente le travail de l'élève, qui détermine comment il effectue les tâches demandées. L'attitude de l'enseignant vise la cohérence avec les objectifs (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves) dans une attitude ferme et chaleureuse (ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance), sans complaisance, reste dans les régulations épistémiques (Buchs, et al., 2008) et discute les productions en s'abstenant de porter des jugements sur les personnes (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes). Même quand les élèves ont l'immaturité de leur âge dans leurs attitudes, leur besoin d'éprouver les limites ou l'intensité de leurs réactions, l'enseignant assume l'autorité pédagogique (ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant)).<br>Il s'agit de régulations épistémiques portant sur les écritures : la réification des interactions dans le wiki, sur la base de critères explicités, aide à éviter les pièges des régulations relationnelles qui polluent souvent l'évaluation (Hadji, 1997). |

| | |
|---|---|
| Rôle 3b : | Régulateur du fonctionnement des groupes d'investigation. |
| Fonction 3b : | Intervenir lors de dysfonctionnements de groupes pour mettre en évidence les effets des actions ou l'absence d'action de chacun en vue d inciter chacun à endosser ses responsabilités. |
| Qui 3b : | L'enseignant, puis internalisation par les élèves. |
| Ressources et outils 3b : | Le wiki et le mail pour communiquer avec les élèves. Mais surtout les discussions présentielles. |
| Discussion 3b : | Les notes sont établies par groupe d'investigation afin d'exprimer l'interdépendance positive. Dans des cas de groupes où les élèves ont travaillé très inégalement et lorsque les élèves ont manifesté une insatisfaction sur le fonctionnement du groupe d'investigation, l'enseignant convoque les élèves et discute de l'investissement effectivement constaté : en observant les enregistrements dans l'historique du wiki il est possible d'objectiver la participation de chacun. |
| Evolution au cours de l'année 3b : | En cours d'année il n'a généralement pas été nécessaire de faire appel à ce rôle très souvent (une à quatre fois par année) et généralement dans le début de l'année. |

| | |
|---|---|
| Rôle 3c : | Evaluateur. |
| Fonction 3c : | Evaluer les productions des élèves. |

| | |
|---|---|
| Qui : | Enseignant. |
| Ressources et outils 3c : | Les évaluations formatives se font dans le wiki ou au stylo vert sur une impression des documents wiki, les évaluations certificatives se font traditionnellement sur papier. |
| Discussion 3c : | Nous avions conjecturé que le dispositif devait dissocier les évaluations certificatives et formatives, prévoir des évaluations formatives nombreuses, bienveillantes, incitant à la progression (c'est-à-dire un climat tolérant l'erreur mais orienté vers un but partagé d'amélioration des connaissances). L'évaluation est conceptualisée dans ce dispositif comme une action pédagogique autant qu'une mesure, comme une manière d'orienter la motivation des élèves vers l'approfondissement conceptuel et le but de construction connaissance.<br>La nature de l'évaluation et sa transparence est un point très sensible de la relation de confiance entre les élèves et l'enseignant. Nous avons conjecturé qu'elle doit être très clairement reliée aux démarches effectuées et que les élèves doivent avoir conscience des critères de l'évaluation (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance).<br>Le dispositif propose des listes fournissant de nombreux exemples de questions possibles d'examen; de plus les questions qui ont guidé l'investigation sont souvent celles qui ont servi plus tard de base pour les évaluations, reformulées, groupées ou instanciées autrement.<br>Les évaluations formatives sont le plus souvent accompagnées de notes, ce qui signifie un grand nombre de notes par semestre : une dizaine. C'est beaucoup plus que les 2-4 habituels dans ce degré.<br>Il y a cependant un paradoxe qui est discuté plus bas : l'évaluation formative est accompagnée de notes qui sont réputées défavorables à la motivation intrinsèque.<br>Des notes favorables en général, résultant de l'investissement important des élèves ont probablement contribué à approfondir leur investissement, et développer le climat de confiance sans que cela ait réduit la motivation intrinsèque. |
| Evolution du rôle au cours de l'année 3c : | Au cours de l'année, un système de notation incitatif est progressivement mis en place : les productions étant imparfaites, les élèves en retard, implorant un délai se voient proposer une tâche d'amélioration notée qui est en fait une occasion d'investissement supplémentaires dans l'écriture pour apprendre. Des notes ont ainsi pu être attribuées à *l'amélioration* des documents qui avaient été évalués comme imparfaits et que les élèves demandaient de pouvoir améliorer; une vision morale aurait conduit à un refus, mais un but partagé d'amélioration des connaissances conduit à accorder aux élèves une chance de retravailler leur texte et même à l'encourager avec un système de bonus. De telles « faveurs » accordées aux élèves sont des opportunités de plus travailler pour apprendre la biologie, manifestant de manière concrète le but d'amélioration des connaissances partagé. Elle manifeste un élément de design (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves). Dans le même esprit, juste avant les petits examens, de longs moments de questions |

| | |
|---|---|
| | sont accordés aux élèves puisqu'ils ont en général bien préparé leur sujet et sont exceptionnellement réceptifs aux savoirs à ce moment particulier. Même si les élèves posent exactement une question qui se trouverait dans l'épreuve, l'enseignant y répond pleinement, manifestant de manière sincère le but d'amélioration des connaissances partagé et la priorité à leur développement. Au début la brochure wiki est autorisée pour l'épreuve, mais elle l'est de moins en moins au cours de l'année afin de préparer aux examens finaux qui se font sans documents. |

| | |
|---|---|
| Rôle 3d : | Manager d'échéances ; gestionnaire du rythme de progression |
| Fonction 3d : | Fixer et faire respecter les échéances, vérifier que les tâches sont effectuées, rappeler à l'ordre, en référence aux règlements de l'école mais au contrat didactique construit progressivement. Vérifier que les consignes et les critères sont bien diffusés et compris, gérer les situations particulières. |
| Qui 3d : | Enseignant. |
| Ressources et outils 3d : | La page d'accueil du wiki est le lieu de référence pour les échéances et les attributions des tâches. |
| Discussion 3d : | Nous avions conjecturé que le dispositif devait dissocier de l'autorité scientifique l'autorité pédagogique qui gère la progression, fixe les échéances (Crahay, 2006) mais qui reste fermement assumée par le maître. |
| Conditions de transition à l'activité suivante | Cette activité d'amélioration par les élèves est intrinsèquement limitée dans le temps. Une fois les améliorations reportées dans le wiki, c'est-à-dire que les connaissances partiellement formées chez les élèves (dans leur tête) deviennent des savoirs dans l'espace d'écriture, ils peuvent être discutés et on passe à l'activité III de présentation. |

### 6.1.9 **Activité IIIb particulière de test du contrat didactique :**

| | |
|---|---|
| Rôles IIIB : | Les mêmes que ceux de l'activité III 3a à 3c. |
| Fonction IIIB : | Globalement on peut dire que cette activité aide à ce que la représentation de la tâche par les élèves soit cohérente avec celles attendues dans dispositif (Rouet, 2006) et que le contrat didactique intègre ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté. |
| Qui : | Enseignant, les élèves. |
| Ressources et outils IIIB : | Les mêmes que ceux de l'activité III 3a à 3c. |
| Discussion 1x : | Après le premier round d'investigation, vers début octobre, les documents wiki sont imprimés dans une petite brochure qui est autorisée pour un petit examen portant sur ce thème. Les questions peuvent être presque les mêmes que celles de la brochure ou en réunir quelques unes. Les réponses qui sont de simples copier-coller sans réelle pertinence à la question ou qui sont très vagues ou insuffisamment approfondies se révèlent alors de peu d'aide pour fournir une réponse valable à l'examen. Il en est résulté chaque année plusieurs changements dans le fonctionnement de la communauté : les élèves sachant |

| | |
|---|---|
| | bien qui a produit quels textes, la responsabilité individuelle envers le groupe (Buchs, 2007) de chacun des rédacteurs de texte est fortement manifestée; bien plus que les propos de l'enseignant, la responsabilité face aux pairs explicite cette caractéristique importante de l'apprentissage coopératif. Certains élèves se sont vus tancer vertement par leurs camarades après l'examen sur la qualité de leur participation à l'écrit commun. D'autre part, une prise de conscience des objectifs a pu être observée : ce qui est attendu en termes d'approfondissement et de compétence à expliciter des mécanismes (Bromme, et al., 2008) est paru plus clair et explique sans doute une partie de l'accroissement de la complexité épistémique. Enfin le statut du document partagé – et la partie du contrat didactique liée à la manière de produite dans ce document - est plus clairement compris : la brochure comme aide à la préparation de l'examen (ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe). |
| Evolution au cours de l'année IIIb | Cette activité n'est effectuée qu'une seule fois vers fin septembre début octobre. Elle est nécessaire quand les élèves commencent à produire des documents qui satisfont les exigences formelles, mais s'éloignent du paradigme scientifique, qu'ils pratiquent le « *classroom game* » de (Lemke, 1990). Lorsque les productions manifestent un réel approfondissement conceptuel, cette activité n'est plus nécessaire. |

### 6.1.10 **Activité IV : Présentation aux pairs et redéfinition des questions**

Nous avons vu l'importance des confrontations socio-cognitives, et une des modalités organisées à cet effet dans le dispositif prend la forme de présentations de l'état des connaissances de chaque groupe d'investigation à la classe. Ces présentations durent deux périodes de 45 minutes ce qui laisse à peine plus de 15 minutes par groupe pour présenter et discuter leur thème.

La première de ces présentations a lieu très tôt : après 2 ou 3 séances en classe, soit environ une semaine ou dix jours d'investigation. Elles peuvent se répéter tous les 10 jours mais en général il n'y a eu le temps de faire que deux présentations. La dernière est une « présentation finale » qui marque l'entrée dans l'activité de finalisation.

Nous avions conjecturé que la présentation de l'état actuel de leur compréhension aurait plusieurs effets : i) partager leurs connaissances pour mutualiser l'apprentissage, ii) prendre conscience de la qualité de leur propres apprentissages, iii) confronter leurs idées à celles des autres, iv) délimiter les questions que chacun poursuit v) mieux situer les questions de chaque groupe dans l'ensemble de l'investigation.(CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage et ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel, CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme, ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel)

Plusieurs mesures visent à encourager l'explicitation du degré de certitude des connaissances en les présentant : un rappel avant les présentations, des interventions visant à faire expliciter le degré de certitude lors d'affirmations paraissant douteuses à l'enseignant (indiquer les imprécisions ou les incohérences intra-texte, inter-textes ou avec des ressources authentiques, ne pas *corriger*) et des critères d'évaluations explicités.

Ces critères sont inspirés de (Sandoval & Reiser, 2003) Cf. Annexe 10.2 Annexe : Critères d'évaluation des pages. En voici des extraits pertinents :

> … Pour chaque question :
>
> Ce que je cherche : la Q°
> Ce que je sais : les réponses que j'ai à cette Q°
> Ce que je ne sais pas
> Comment je pense essayer de l'apprendre : ce que je vais faire.

Plus loin

> …Réponse aux questions :
> …
> Lucidité sur ses connaissances et sur les certitudes.

Evolution de l'activité au cours des implémentations :

La confrontation socio-cognitive est visée dans cette activité. A ce stade, les idées sont encore peu abouties et de nombreux élèves ont indiqué que le fait de devoir présenter des connaissances encore incertaines leur était désagréable. Cette activité vise à transformer le contrat didactique implicite notamment sur l'exposition du degré d'incertitude de ses connaissances. En cours d'année, le contrat se construit notamment par une explicitation orale avant les présentations et l'indication dans les critères, depuis décembre 2007, de la nécessité d'expliciter le degré de certitude de leurs connaissances en les présentant. Etant donné l'intensité de l'activité dans le temps limité et la tension entre laisser les élèves s'exprimer et communiquer au mieux ce qu'ils savent, cette activité distingue plusieurs rôles.

| | |
|---|---|
| Rôle 4a : | Présentateur d'un groupe d'investigation. |
| Fonction 4a : | Les élèves d'un groupe d'investigation présentent l'essentiel de leur sous-thème : ils commentent et expliquent les mécanismes centraux. |
| Qui 4a : | Les élèves d'un groupe d'investigation. |
| Ressources et outils 4a : | Les élèves d'un groupe d'investigation présentent en se basant sur le wiki qui est projeté devant la classe. Cela permet aux autres de se familiariser avec ce document et justifie qu'une présentation avec un logiciel dédié n'est pas indiquée malgré les affordances limitées du wiki pour cet usage. |
| Discussion 4a : | Les élèves sont devant la classe au pupitre de l'enseignant et chacun parle à tour de rôle pour une durée approximativement égale. Ils choisissent entre eux comment se répartir les activités de leur exposé et l'un montre dans le wiki ce que l'autre expose. Le temps très limité oblige à une synthèse et une focalisation sur l'essentiel. |
| Evolution du rôle au cours de l'année 4a : | Au début de l'année, les élèves essaient de tout dire, certains se contentent de lire leur texte ce qui n'est pas possible dans le temps prévu. Rapidement la pression du groupe classe les incite à préparer les exposés et les élèves se focalisent sur l'explication des mécanismes, laissant l'énoncé des termes au lecteur. Au cours de l'année, la qualité des présentations s'améliore très nettement et leur perception de leur compétence communicationnelle aussi. |

| | |
|---|---|
| Rôle 4b : | Gestionnaire du temps. |
| Fonction 4b : | Gérer le temps des exposés, veiller à un temps de parole égal entre les groupes. |

| | |
|---|---|
| Qui 4b : | L'enseignant, puis dévolution aux élèves. |
| Ressources et outils 4b : | Une simple minuterie de cuisine, ou les Smartphones des élèves ont été utilisés pour compter le temps. Ils reçoivent 3 cartons indiquant « 5 minutes », « 2 minutes », « 1 minute » que l'élève-coordinateur de ce groupe d'investigation brandit au moment idoine. |
| Discussion 4b : | Suite à des suggestions de C. Buchs, ce rôle a été identifié, ce qui a permis de le dissocier de l'enseignant et a conduit à externaliser le rôle. C'est intéressant de noter que l'idée ne soit pas venue facilement confirmant la difficulté des enseignants à dévoluer le contrôle des élèves (Bereiter, 2002). |
| Evolution au cours de l'année 4b : | Au début de l'année, l'enseignant gère le temps avec une minuterie qui sonne, mais l'intensité de l'écoute nécessaire pour le pilotage conceptuel et relationnel rend difficile la gestion du temps. Ce rôle a été dévolu aux élèves du groupe d'investigation qui prennent l'exposé suivant, particulièrement motivés pour que le temps ne soit pas dépassé. |

| | |
|---|---|
| Rôle 4c : | Coordinateur. |
| Fonction 4c : | Organiser l'ordre des présentations, prendre note des changements issus de la présentation concernant la contribution du groupe d'investigation. |
| Qui 4c : | Enseignant, puis internalisation par les élèves.<br>L'enseignant conserve le contrôle du découpage conceptuel, le choix des ordres de passage.<br>Les élèves, notamment l'élève coordinateur, prennent en charge le rôle de prendre note des changements issus des confrontations socio-cognitives lors des présentations. |
| Ressources et outils 4c : | Les changements sont reportés immédiatement dans le wiki sous forme de notes ou de questions. |
| Discussion 4c : | L'ordre des présentations est déterminé pour assurer le meilleur apprentissage, mais il n'est pas apparu que cet ordre soit décisif, aussi d'autres considérations organisationnelles comme l'absence de certains élèves d'un groupe ont pu être prises en compte.<br>Par ailleurs, durant les exposés, il s'agit de prendre note des changements issus de la présentation concernant la contribution du groupe d'investigation : questions reformulées, dissociées, reprises d'un autre groupe d'investigation ou transférées à un autre groupe d'investigation, incohérences à éclaircir, réponses à approfondir. |
| Evolution au cours de l'année 4c | Le rôle de découpage conceptuel, de choix des ordres de passage reste dévolu à l'enseignant.<br>Le rôle de prendre note des changements issus des confrontations socio-cognitives lors des présentations est d'abord pris en charge par l'enseignant qui note puis reporte les questions, plus tard il note et désigne un rapporteur dans le wiki et enfin le rôle est dévolu en cours d'année à un coordinateur par groupe d'investigation. |

| | |
|---|---|
| Rôle 4d : | Garant de l'exactitude par rapport paradigme scientifique. |
| Fonction 4d : | Veille à l'adéquation par rapport aux modèles de consensus scientifique et le |

| | |
|---|---|
| | niveau de formulation à atteindre. |
| Qui 4d : | L'enseignant, puis internalisation par les élèves. |
| Ressources et outils 4d : | Les interventions se font par oral, par e-mail mais souvent dans le wiki. |
| Discussion 4d : | Pour conserver la dévolution mais assurer l'adéquation aux paradigmes, il ne s'agit pas de corriger, mais de signaler les incohérences, le manque de clarté, les ambiguïtés et tout particulièrement d'indiquer le manque d'approfondissement des explications de mécanismes sous-jacents, la nature insuffisamment scientifique des justifications (finalisme, manque d'étayage, etc.) en général, il s'agit d'expliciter ce que la question implique, voire de la reformuler. Parfois il faudra guider vers des ressources d'approfondissement, mais au cours de l'année, les élèves développent des stratégies qui leur permettent de trouver les réponses. |
| Evolution au cours de l'année : 4d | Si l'enseignant reste le garant, son rôle s'estompe progressivement au fur et à mesure que les élèves prennent en charge cette confrontation. Ils n'atteignent pas une totale autonomie sur ce point. |

| | |
|---|---|
| Rôle 4e : | Pilotage conceptuel. |
| Fonction 4e : | Distinguer les erreurs de contenu, repérer les concepts manquants ou mal identifiés, les incohérences à l'intérieur du groupe d'investigation et avec les autres groupes d'investigation, les termes synonymes et le vocabulaire non stabilisé, ainsi que délimiter les champs, etc. |
| Qui 4e : | Enseignant, puis internalisation partielle par les élèves. |
| Ressources et outils 4e : | L'enseignant s'installe dans la salle, sur le côté, dans une posture d'observateur. Une connexion internet et un projecteur permettent d'afficher les pages wiki à l'ensemble de la classe. |
| Discussion 4e : | Il s'agit de veiller à ce que les questions qui sont reformulées ou ressortent de la discussion soient explicitées, attribuées aux groupes d'investigation correspondants et effectivement prises en charge : qu'elles apparaissent dans le wiki. En principe, l'élève-coordinateur s'en occupe mais l'enseignant veille à ce que cela se passe.<br>Il s'agit aussi de signaler les problèmes de structure du document wiki, d'indiquer comment les résoudre. Il s'agit aussi d'attribuer les récritures aux membres du groupe d'investigation ce dont l'élève-coordinateur s'occupe. |
| Evolution au cours de l'année 4e | L'enseignant reste le garant, son rôle s'estompe progressivement au fur et à mesure que les élèves prennent en charge la responsabilité de la page et donc cette structuration. Ils n'atteignent pas une totale autonomie sur ces points. |

| | |
|---|---|
| Rôle 4f : | Pilotage relationnel. |
| Fonction 4f : | Maintenir la résolution des conflits et les confrontations au niveau épistémique, repérer les dysfonctionnements dans les groupes et intervenir pour les résoudre dans le cadre de l'activité. |
| Qui 4f : | Enseignant, puis internalisation par les élèves. |
| Ressources et | Ce genre de régulations se fait de préférence en présentiel, les interventions |

| | |
|---|---|
| outils 4f : | par e-mail étant notoirement susceptibles de mauvaise interprétation (Horman, 2005). |
| Discussion 4f : | L'explicitation du type de relation nécessaire à l'activité est énoncé aux élèves en des termes – d'inspiration Rogerienne (Rogers, 1969) – comme : « il ne s'agit pas d'aimer les autres mais d'apprendre à travailler avec eux comme ce sera le cas dans la vie professionnelle et aux études », De plus, une discussion basée sur des faits observés – notamment les écritures datées et enregistrées dans le wiki – et l'explicitation des effets sur les pairs d'un investissement inégal dans le cadre de la construction de connaissances par la classe permettent en général de résoudre ces problèmes. |
| Evolution au cours de l'année 4f : | Les élèves ont en général accepté de développer des relations de travail satisfaisantes. Même si le travail en groupe reste mal perçu, plusieurs résultats suggèrent qu'ils ont réussi à maitriser une part de compétences de travail collaboratif et que leurs apprentissages ont bénéficié des confrontations socio-cognitives. |

### 6.1.11 **Conditions de transition à l'activité suivante**

Cette activité d'amélioration par les élèves est intrinsèquement limitée dans le temps : en général 2 périodes de 45 minutes, plus le report dans le wiki à la maison le soir même. Une fois la reformulation des questions et les améliorations reportées dans le wiki, on retourne à l'activité de recherche ou à l'activité d'institutionnalisation.

### 6.1.12 **Activité V : Institutionnalisation et évaluation de l'investigation**

Dans cette activité, l'investigation qui a pris sa vitesse de croisière et qui pourrait continuer indéfiniment doit être interrompue et conduire à une finalisation des productions puis à une synthèse en connaissances individuelles par les élèves des savoirs dans la communauté qui est sanctionnée par une évaluation certificative.

D'une certaine manière, les savoirs dans l'espace d'écriture prennent un statut particulier par cet aboutissement, la publication d'une brochure et l'échéance d'un examen de plus grande ampleur. L'institutionnalisation aide l'élève à prendre conscience de ce qu'il sait, ou doit savoir, à en délimiter les contours et le champ d'application, à le rendre vivant et applicable dans d'autres contextes.

| | |
|---|---|
| Rôle 5a : | Editeur, diffuseur de la brochure et organisateur d'événement. |
| Fonction 5a : | La brochure est simplement imprimée telle qu'elle apparaît dans le et une page de titre y est ajoutée avec la mention des élèves y ayant participé et des images évoquant les thèmes traités. |
| Qui 5a : | Enseignant, puis internalisation partielle par les élèves. |
| Ressources et outils 5a : | Le wiki comme source, un traitement de texte pour la page de titre, impression et agrafage dans les systèmes de reproduction des écoles. |
| Discussion 5a : | L'épaisseur du document manifeste concrètement l'ampleur du travail réalisé par la classe. Ces documents sont distribués aux élèves peu avant l'examen à l'occasion d'une petite célébration en classe (jus d'orange, biscuits, quelques mots de félicitations, congratulations réciproques, …) qui met en évidence la valeur de la production des élèves et constitue une récompense symbolique (dont la motivation intrinsèque se nourrit) et manifeste la communauté d'apprentissage. Pour de petits examens intermédiaires, la brochure n'est pas imprimée mais sa lecture à l'écran proposée aux élèves. |

| | |
|---|---|
| Evolution au cours de l'année 5a : | Certains élèves peuvent aussi commencer à préparer l'examen avant la publication de la brochure en lisant à l'écran ou en l'imprimant eux-mêmes. |

| | |
|---|---|
| Rôle 5b : | Apprenant : synthétiser les savoirs de l'investigation en connaissances personnelles. |
| Fonction 5b : | Apprendre : synthétiser en connaissances personnelles les savoirs acquis dans les activités et ceux exprimés dans la brochure, en préparation de l'examen. |
| Qui 5b : | Les élèves individuellement. |
| Ressources et outils 5b : | Le wiki. Les élèves ont utilisé un accès internet, pour écrire, mais souvent ont composé leurs idées sur papier ou sur un traitement de texte avant de les reporter sur le wiki. |
| Discussion 5b : | Cette activité est l'aboutissement de tout le processus, c'est alors que tout ce qui a été préparé dans l'investigation permet la synthèse individuelle des savoirs communs en connaissances structurées. Dans la mesure où l'alignement est effectif et selon l'investissement de chaque élève, ce travail est la continuation d'un processus largement commencé. Etant donné le statut de production par et pour les élèves, il s'agit aussi de vérifier dans les références en cas de doute ou de manque de clarté. Les élèves savent qui a rédigé quelle partie et sont en fait en train de valider en rapport avec la source de l'information. |

| | |
|---|---|
| Rôle 5c : | Evaluateur : l'évaluation certificative. |
| Fonction 5c : | Préparer des questions d'examen qui sont conformes aux exigences des plans d'étude, tout en étant alignées avec les objectifs et les activités réalisées (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves), puis évaluer les examens des élèves selon ces critères. |
| Qui 5c : | Enseignant. |
| Ressources et outils 5c : | Le wiki, notamment les questions, les bases de données d'articles. |
| Discussion 5c : | Dans cette perspective, la production de ces questions peut simplement consister à en sélectionner quelques unes, à les grouper, les reformuler, ou à en imaginer une qui en regroupe plusieurs. Eventuellement une question transforme la descriptions d'un mécanisme en une question diagnostique : que se passerait-il si tel élément du système était surabondant ou absent, ou s'il interagissait avec un autre élément du système ? Ce type de questions découle de la définition de *comprendre* dans le paradigme de la biologie que nous avons proposée plus haut « savoir prédire ce que fera le système étudié dans une situation non vue en classe ». |

### 6.1.13 **Evolutions multi annuelle du dispositif**

La première implémentation du design (2002, avec une classe de 2ème OS) a surtout validé les grandes lignes du design (des conjectures encore peu formulées en somme), démontrant qu'il produit effectivement des savoirs et des connaissances compatibles avec l'institution. Une première confirmation des conjectures centrales a été posée CJ2 : L'investigation peut conduire

depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme, CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions.

Les éléments du design suivant ont alors été conceptualisés :ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances.

Bien qu'encore peu formulés, on peut inférer que ces éléments guidaient le dispositif : ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène, ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables, ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur, ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs, ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe, ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation.

Il faut rappeler qu'il n'était pas du tout acquis à cette époque, dans la culture enseignante locale, que l'investigation puisse être efficace en termes d'acquisition de connaissances disciplinaires et compatibles avec les programmes et la pratique enseignante ni avec la préparation aux études académiques. Le climat politique et les médias étaient particulièrement méfiants face aux innovations pédagogiques. L'engagement d'une classe, sur une longue période et dans un dispositif aussi inhabituel, représentait donc une prise de risque face aux critiques qui n'auraient pas manqué de se manifester au moindre signe que les élèves réussissaient moins bien dans ce dispositif. Alors que l'enseignement habituel n'a pas de preuves de son efficacité à apporter, ce dispositif était « condamné à réussir ». Cette confirmation de son efficacité, selon les critères de l'institution, a donc représenté une importante étape pour la suite du projet en termes de crédibilité institutionnelle. Elle a constitué un précédent sur lequel s'appuyer pour convaincre les élèves des années suivantes d'y accorder leur confiance (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves) et d'entrer dans un contrat didactique très inhabituel dont les résultats n'apparaissent pas immédiatement. C'est la ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré. Elle a aussi donné un surcroît d'assurance à l'enseignant dans l'exploration de scénarios novateurs.

Au cours de l'année suivante, les changements principaux sont l'introduction progressive de la règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses (ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes) en 2003 en parallèle avec la prise de conscience de son efficacité dans la structuration de l'approfondissement conceptuel et le guidage de l'investigation pour assurer la couverture des programmes.

L'implémentation 2004 du design a introduit explicitement et formalisé les présentations intermédiaires comme opportunité de confrontation d'idées très tôt, dans la première itération du cycle d'investigation, elle va de pair avec une conceptualisation de la science comme argumentation : ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel.

Lors de l'implémentation 2005, le design a été reconceptualisé comme un système dynamique dont l'enseignant est partie prenante plutôt que seulement comme un enseignant intervenant de l'extérieur sur un système classe dont il ne fait pas partie, ce qui mène à voir l'enseignant – aussi – comme une variable dépendante que l'évolution du système modifie. L'analyse du système

classe – enseignant – ressources s'en trouve facilitée parce qu'on ne tente pas de dissocier les effets éducatifs qui résulteraient de l'intervention IBL de ceux résultant de l'action de l'enseignant.

L'année 2006 a vu les caractéristiques d'écriture coopérative et des présentations intermédiaires optimisées pour favoriser les régulations épistémiques. Ce sont les éléments de design ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité, ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation.

L'interdépendance positive et la responsabilité individuelle (IP + RI) (structure coopérative) ont été plus explicitement indiquées aux élèves et les présentations intermédiaires présentées comme des occasions de confronter les idées plutôt que comme des moments d'évaluation certificative : ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives. Le découpage du champ curriculaire en thèmes distribués aux groupes d'investigation crée l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs : ED25 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs. L'exigence d'expliciter lors de présentations le degré d'(in)certitude des affirmations a été instaurée (elle découle de ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté), et des efforts pour développer la confiance et la sécurité ont été renforcés.

Lors des premières implémentations, les groupes d'investigation ont été formés sur la base de la localisation dans la salle des élèves (premier rang ensemble, deuxième rang ensemble, etc.) au début de l'année. Nous avons construit plus haut la conjecture qu'il faudrait éviter les groupes par affinité, qu'on devrait viser l'hétérogénéité des niveaux et des compétences selon la littérature sur le travail coopératif (Buchs, Lehraus, & Butera, 2006). Dans les implémentations 2006-2008, nous avons tenté une formation des groupes d'investigation en équilibrant les niveaux. Cela s'est souvent avéré délicat car au début de l'année, les niveaux ne sont pas connus, parce que les élèves sont réticents à se grouper par-delà les affinités et parce que cela n'a pas paru avoir une influence décisive sur les apprentissages. Donc par parcimonie, nous conjecturons qu'un choix arbitraire (alphabétique, aléatoire) est satisfaisant.

Depuis 2006, un élève-coordinateur par groupe d'investigation a été nommé, qui assume le rôle de noter les nouvelles questions ou leur reformulation apparues dans les confrontations notamment lors des présentations intermédiaires. Au début de l'année, l'enseignant prend en charge ce rôle en notant les questions ou en les dictant à un élève qui les note dans le wiki devant la classe, ensuite il les attribue chacune à un élève qui doit les noter dans le wiki, puis aux cours de l'année ce rôle est dévolu à l'élève-coordinateur qui les prend en charge et les note dans le wiki. Cela découle des ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé) et ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances.

De plus l'élève-coordinateur doit veiller à la cohérence et à la structure du texte (éviter les doublons, terminologie unifiée, unicité conceptuelle des questions et réponses, rubriques dans le wiki, etc.), recueillir les remarques lors des confrontations orales et produire un abstract de la page.

Nous avons construit plus haut la conjecture qu'il faut laisser du choix aux élèves pour maintenir la motivation, en référence au sentiment de contrôle (Bandura, 1997). Lors des premières implémentations, les thèmes ont été attribués dans des activités assez longues de choix, nécessitant une première présentation des sous-thèmes pour permettre un choix éclairé. Au fil des années, les élèves ont, lors de plusieurs implémentations annuelles, manifesté une certaine impatience et souhaité qu'on aille directement vers l'investigation. Nous l'interprétons comme une intégration du contrat didactique et comme l'émergence fonctionnelle de la communauté d'apprenants : les élèves chercheraient à maximiser le temps passé à l'investigation en classe avec des documents plus nombreux et l'enseignant à disposition. Comme ils devront aussi connaître les autres thèmes, le choix est peut-être moins crucial. Dès le milieu de l'année, cette liberté de choix n'a pas paru avoir une influence décisive donc par parcimonie nous conjecturons qu'un choix laissé aux élèves est important au début, et qu'une attribution arbitraire avec la possibilité de proposer des échanges entre groupes est satisfaisante dès que les élèves manifestent une réelle envie d'avancer dans l'investigation. Cela confirme le fond de l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs, la négociation des questions qui sera précisée dans la question Q2B.

A propos des présentations, de l'évaluation et de la motivation intrinsèque : lors des premières implémentations, la distinction entre le rôle d'évaluation avec note de cette activité et son but dans la construction des connaissances n'était pas clair. Au cours de 2007 et 2008, la dimension de confrontation socio-cognitive a été explicitée (ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives, CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage et ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes) et développée en même temps que l'importance de cette activité s'est affirmée.

A ce stade, les idées sont encore peu abouties et de nombreux élèves ont dit que devoir présenter des connaissances encore incertaines leur était désagréable. Probablement que le contrat didactique implicite était pour eux celui d'un examen oral qu'on peut tenter d'énoncer comme ceci « il faut prétendre savoir, essayer de deviner ce qu'on ne sait pas et affirmer avec certitude ce qu'on suppose ». Au contraire, ce dispositif exige d'expliciter le degré de certitude des savoirs présentés. En cours d'année, le contrat s'est construit notamment par une explicitation orale avant les présentations et l'indication dans les critères – depuis décembre 2007 – de la nécessité d'expliciter le degré de certitude de leurs connaissances lors des présentations (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel).

Il nous semble que l'effet observé par les élèves de clarifier les questions et mettre en évidence la solidité des connaissances pour permettre l'activité suivante de l'investigation a joué un rôle prépondérant dans le changement du contrat didactique. Pourtant, les élèves ne se sont quasiment jamais référés explicitement aux critères. Là encore, les effets observables pour les élèves en termes de notes et d'apprentissages semblent agir plus sur les comportements des élèves que le discours de l'enseignant. On peut aussi expliquer ces changements d'attitude et notamment la forte implication – en référence à la théorie de l'engagement (Joule, 2002) – comme un engagement face aux autres qui conduit chacun des élèves à s'impliquer et à progressivement assumer la responsabilité du travail difficile de synthèse pour produire sa part des savoirs. Ce qui apparaît clairement est que les interactions sociales entre les élèves sont au cœur de cette dynamique, ainsi que la durée nécessaire à l'émergence de cette dynamique.

Cela ajoute du crédit à l'élément de design ED7 comme approche du guidage dans les interactions scolaires (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves).

## 6.2 Résultats : Q1B Dans quelle mesure les connaissances acquises dans le dispositif étudié sont-elles adéquates dans l'institution scolaire ? Dans quelle mesure sont – elles scientifiques ?

Avant d'analyser les effets des éléments de design implémentées dans ce dispositif particulier, nous avons cherché à établir si ce dispositif permet effectivement aux élèves de connaître les savoirs curriculaires reconnus dans l'institution scolaire dans lequel l'enseignement a lieu. En effet, l'analyse détaillée d'un dispositif qui dysfonctionnerait ne présenterait pas un très grand intérêt.

### 6.2.1 Extraire des savoirs pertinents de ressources surabondantes

Examinons les données disponibles concernant la compétence des élèves à extraire des savoirs pertinents de ressources surabondantes, et l'influence des particularités du design qui y auraient contribué. D'abord nous examinerons dans quelle mesure le dispositif a développé chez les élèves la compétence à produire des savoirs communs pertinents à partir de ressources surabondantes et de qualité très variée. Nous discuterons ensuite l'influence possible des *éléments de design.*

Nous discuterons plus loin (cf. question Q2E 7.5 page 304) dans quelle mesure des stratégies de sélection de ressources ont été développées et dans quelle mesure les conceptions épistémologiques sur la biologie ont pu changer.

Une sorte de preuve par le design découle du constat que les textes dans les documents wiki et les savoirs qu'ils manifestent ne provenaient quasiment pas des propos de l'enseignant; ils ont été rédigés par les élèves à partir des ressources disponibles en classe (manuels, ouvrages académiques, etc.) et via internet, notamment dans les ouvrages académiques on-line. Les seules données sur ce point crucial proviennent des observations de l'enseignant – dont nous nous méfions, mais sur ce point il nous semble que l'on peut accepter comme raisonnable l'affirmation que ce qui est dans le wiki ne provient pas de ses propos ou documents. En effet il n'y a pas de *cours frontal* ni de *polycopié* distribué. Pour ce qui est des propos de l'enseignant, les observateurs l'ont confirmé avec quelques nuances (notamment lors des exposés) mais pour ce qui est de l'écrit, nous considérons comme crédible que l'essentiel des savoirs du wiki ne provient pas de l'enseignant. L'analyse du rapport de l'expert dans la section 6.2.4 (p. 218), ainsi que la discussion, dans la section 7.2.3 (p. 252), de l'élaboration des textes et notamment de leur complexité épistémique viendra confirmer ce point.

Globalement nous considérons donc que le dispositif s'est avéré capable de manière répétée les 7 années étudiées d'amener les élèves à extraire des savoirs pertinents à partir des ressources quasi illimitées. On peut donc considérer que cette compétence d'intelligence informationnelle est avérée, probablement pour les élèves mais au moins en tant que compétence de la communauté apprenante.

Sur la durabilité de cette compétence ou du moins de sa perception par les étudiants, les réponses au questionnaire post-secondaire par des élèves ayant pratiqué cet IBL, devenus étudiants à l'université, fournissent des indices encourageants (cf. méthodologie section 5.5.7, (p. 167));

Le questionnaire post-secondaire pose la question :

| |
|---|
| Vous sentez-vous bien armé-e pour apprendre dans un monde de la surabondance d'information : de Pas du tout= 1 -> tout à fait= 4 |

Les réponses obtenues (les années où cette question était posée (2008, 2009, 2012) confondues) sont nettement positives[20] :

2006-2012 : Moyenne= 3.19 écart-type $\sigma$= 0.62 N=19.

Exemples de commentaires :

> -Réponse : 3,5 Oui, sans hésiter! En tant qu'étudiant en droit de la "nouvelle aire", 80% des recherches se font sur internet! Autant dire qu'il faut savoir trier entre les différentes informations qui s'offrent à nous... D'ailleurs, j'en profite pour vous remercier car je pense que les longues heures passées à faire des recherches sur internet pendant vos cours ne sont pas sans lien avec la note de 5,75 que j'ai obtenue en Recherches Juridiques Informatisées.
>
> -Pour résumer, je pense que ce cours à été utile au niveau du trillage de surabondance d'information pour les étudiants en medecine, alors que pour les etudiants d'epf, ça a surtout aidé pour le travail de groupe.
>
> -Car effectivement apres le travail de matu et les travaux de bio, je pense qu'on arrive a se limiter a un sujet, l'etoffer si necessaire ou le resumer.
>
> -3-4 (des fois je crains d'être un peu trop superficielle et de négliger les détails)
>
> -nous ne sommes pas armés du tout.....l'uni et l'epfl, c'est une autre vie, un autre système, on grandit.

On peut estimer que dans ce dispositif les élèves poursuivent effectivement des stratégies d'intelligence informationnelle qui sont réutilisées et pertinentes pour les études universitaires.

Une autre sorte de *preuve par le design* que les élèves sont capables de construire des savoirs pertinents à partir de ressources surabondantes découle du constat que les textes dans les documents wiki et les savoirs qu'ils manifestent ne provenaient quasiment pas des propos de l'enseignant; ils ont été rédigés par les élèves à partir des ressources disponibles en classe (manuels, ouvrages académiques, etc.) et via internet, notamment dans les ouvrages académiques on-line. Il est vrai que les seules données sur ce point crucial proviennent des observations de l'enseignant – dont nous nous méfions – mais sur ce point il nous semble que l'on peut accepter comme raisonnable l'affirmation que ce qui est dans le wiki ne provient pas de ses propos ou documents, en effet il n'y a pas de *cours frontal* ni de *polycopié* distribué. Pour ce qui est des propos de l'enseignant, les observateurs l'ont confirmé avec quelques nuances (notamment lors des exposés) mais pour ce qui est de l'écrit, nous considérons comme crédible que l'essentiel des savoirs du wiki ne provient pas de l'enseignant. L'analyse du rapport de l'expert dans la section 6.2.4, (p. 218), ainsi que la discussion, dans la section 7.2.3 (p. 252), de l'élaboration des textes et notamment de leur complexité épistémique viendra confirmer ce point.

Globalement nous considérons donc que le dispositif s'est avéré capable de manière répétée les 7 années étudiées d'amener les élèves à extraire des savoirs pertinents à partir des ressources quasi illimitées. On peut donc considérer que cette compétence d'intelligence informationnelle est avérée, probablement pour les élèves mais au moins en tant que compétence de la communauté apprenante.

---

[20] Il faut encore une fois rappeler le biais d'échantillonnage qui vient nuancer ces résultats : ceux qui ont répondu pourraient être plus positifs par rapport à cet enseignement que ceux qui n'ont pas répondu.

### 6.2.2 Des stratégies de recherche plutôt que l'apprentissage exhaustif de documents prescrits ?

Nous avons discuté plus haut (section 5.4.1 (p.155)) que les indices que les élèves se confrontent avec succès aux ressources authentiques seront interprétés comme des indices de scientificité des connaissances, et pourquoi nous avons choisi le rapport aux gros ouvrages scientifique comme variable intermédiaire reflétant les processus de validation scientifique des connaissances.

A la question :

> 1 Avez-vous l'impression que vous avez été bien préparés dans ce cours BiOS à faire face à de gros ouvrages scientifiques ?

Les répondants au questionnaire post-secondaire (les années où cette question était posée (2008, 2009, 2012) confondues) ont indiqué très largement qu'ils se sentaient plus à l'aise face à des gros ouvrages scientifiques : 14 oui, 1 non, 2 incertains ou non pertinent (N=18).

Exemples de commentaires représentatifs :

> …ce qui m'a aidé, c'est de ne plus être impressionné par un livre de plusieurs milliers de pages et ne plus me dire que c'est inaccessible.
>
> Oui, on a moins peut-être moins peur de s'attaquer à de gros bouquins ou a différentes sources scientifiques très techniques.
>
> Oui plutôt bien, même si au début de la 4ème, devoir ouvrir le Campbell me semblait un peu impossible et qu'il était parfois difficile de chercher dans autant d'informations. Arrivée à l'uni, ce n'était plus du tout un problème, et le Campbell m'a très vite paru être un livre un peu "simplifié".
>
> Honnêtement pas énormément, car on avait des ouvrages déjà excessivement proche de notre sujet et qui étaient à notre disposition. Or, je pense que ce qui est le plus difficile c'est de rassembler et de trouver les bonnes sources.
>
> Oui, dans la mesure où il est maintenant plus facile de s'y retrouver dans des ouvrages scientifiques souvent gigantesques.
>
> oui, on a été bien préparé. mais je le dis maintenant, car j'étais plutôt sceptique l'année passée. Votre méthode de travail m'a permis de résumer les lectures, etc dès le début des cours à l'uni. elle m'a beaucoup servi les permières semaines, sinon je pense que j'aurais été larguée et j'aurais pris du retard. Alors que là, j'ai direct attaqué avec les questions, puis j'ai un peu changé la forme des résumés, mais je crois que le principe est le même!
>
> Totalement ce cours nous a permi de pouvoir faire le tri très rapidement parmi toutes les informations qu'ont avaient pu recevoir, ce grâce au schéma type de nos exposé définition, principe, mécanisme, question en rapport avec le thème

Les réponses obtenues sont très largement positives sur cette compétence d'intelligence informationnelle (Karsenti & Dumouchel, 2010).

Globalement, on peut donc estimer que ces résultats indiquent que chez les répondants, ce dispositif modifie le rapport aux ressources authentiques tels que des gros ouvrages et de manière durable, au moins jusqu'à l'entrée dans les études universitaires, ce qui constitue un

prérequis pour développer des compétences d'intelligence informationnelle et une certaine épaisseur scientifique des connaissances.

| J'ai accepté l'idée que je vais jamais tout savoir. |
|---|

Cette réponse d'un élève au questionnaire de fin d'année révèle probablement une attitude face aux savoirs relevant d'une épistémologie sophistiquée. Elle correspond à une majorité des réponses fournies au questionnaire post-secondaire. On peut donc supposer que ce dispositif contribue à une sophistication des épistémologies.

On peut supposer que ce changement révèle une évolution des croyances épistémologiques « naïves » vers des épistémologies sophistiquées (Bromme, et al., 2008). C'est-à-dire qu'ils semblent dépasser la croyance que les connaissances consistent en un stock de faits reflétant précisément le monde, qui s'ajoutent en s'imbriquant, et dont la véracité est garantie par l'autorité d'une personne pour adopter la croyance que la connaissance est complexe, que les savoirs sont des constructions et non des donnés. Cela constitue des indices que les *éléments de design* correspondantes sont opportunes : en particulier la dévolution progressive de la validation par les élèves, la confrontation à des ressources très nombreuses et de qualité diversifiée, et l'articulation co-écriture - présentation (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel, ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène).

### 6.2.3 **Ecrire et présenter produit-il des connaissances ?**

L'écriture dans un espace partagé, articulée à la présentation aux pairs sont des éléments centraux du design étudié et leur analyse renseigne sur la qualité des connaissances produites et apporte des éléments de réponse à la question Q1 sur l'adéquation des connaissances à l'institution et à leur nature scientifique. Les connaissances étant inaccessibles aux mesures directes, nous avons surtout cherché les traces indirectes dans les écrits produits lors du processus d'élaboration des connaissances. Les documents wiki manifestent la capacité à extraire de l'information mais ne révèlent pas automatiquement les activités cognitives impliquées : on pourrait argumenter qu'il s'agirait de simple compilation et non de production de connaissances. Dans la mesure où les connaissances résultent des interactions entre les activités d'écriture, de présentation et de révision en vue des examens, nous pouvons chercher dans les traces de ces activités des indices que les savoirs auxquels ils ont été confrontés leur ont permis de construire des connaissances.

Du point de vue strictement institutionnel, les résultats aux examens (moyenne de classe 5.07 à 5.2 pour les années 2006, 2009, 2010 (méthodologie : Cf. section 5.4.2 (p. 157)) constituent une indication sérieuse que les élèves disposaient des connaissances et des compétences requises.

Les effets observés des différents éléments de design dans l'articulation des activités renseignent sur l'opportunité et la validité de ces éléments. La présentation aux pairs est un indice assez fiable des connaissances des élèves : ils ont assumé et ont été capables de présenter et de défendre les savoirs dans leurs pages aux pairs suffisamment bien pour que ces derniers réussissent aux examens. L'articulation entre les activités d'écriture et de présentations est un élément clé de ce dispositif, et les réponses au questionnaire de fin d'année indiquent que les élèves ont conscience de ce rôle :

| 3c) Que pensez-vous de devoir faire des exposés souvent ? |
|---|

Les réponses (N=50) années 2008, 2009 : contiennent 61 items positifs et 24 items négatifs :

Positifs : permet de prendre la mesure de ses connaissances et lacunes (17), développe les compétences de communication (14), oblige à synthétiser (13), mutualise les connaissances (12), oblige à travailler (3), positifs (2).

Négatifs : Stressant, trop d'effort, désagréable, (12), insatisfaits de la mutualisation (8), l'organisation ne permet pas d'en profiter (3),

Les répondants indiquent assez clairement que les bénéficiaires principaux des exposés sont les exposants parce que cela aide à synthétiser, à détecter ce qui n'est pas clair et à développer les compétences communicationnelles.

> C'est en faisant nos exposés que l'on voit si on connait notre sujet, car s'il on arrive pas à l'expliquer, c'est que l'on ne le connait pas assez bien.
>
> Cela nous permet de voir ou sont nos lacunes quand les personnes à qui ont explique ne comprennent pas et nous posent des questions et aussi à ne pas laisser tout le travail a faire au dernier moment.
>
> Ils nous permettaient de voir ce qui était fondamental dans notre car nous devons souvent faire des synthèse et également de voir ce qui n'était pas compris ou pas lair.

La mutualisation ne vient qu'en 4$^{ème}$ position.

Ils sont conscients que cette activité les aide à développer des compétences communicationnelles :

> C'est la partie la plus embêtante je trouve, mais très utile car, étant moi même une personne plutôt timide, ça m'apprend à prendre confiance en moi afin d'améliorer de jour en jour la manière de présenter oralement et d'expliquer à d'autres.
>
> Personnellement ça m'a aussi appris de m'habituer à parler devant des gens. Je n'aimais pas du tout ça avant et maintenant ça ne me dérange plus

Les élèves font en général une petite dizaine de présentations devant la classe, ce qui permet une réelle progression des compétences.

L'importance de la communication est aussi mise en évidence par le rôle attribué au wiki. Dans le questionnaire de fin d'année :

> 10e) Le wiki a plutôt joué le rôle de support pour l'exposé...
> noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle :Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

Pour les années 2008 (4OS) et 2009 (3OS et 4 OS) les résultats d'ensemble sont Moyenne =3,6 écart-type $\sigma$ =0,68 N= 41

Les élèves voient très majoritairement le wiki comme support pour les présentations aux pairs ; cela suggère que l'écriture est produite dans la perspective de communiquer et contribue au développement de compétences de communication, mais aussi à une vision de la science comme débat : il faudra défendre les idées devant les autres. L'intégration de la co-écriture et des présentations est manifestement réalisée pour les élèves.

Il est intéressant de noter que le wiki n'est certainement pas un outil de présentation : il n'en a pas les affordances. Les images ne peuvent pas être redimensionnées et les styles de texte

n'existent pas, la « page » est comme un long parchemin déroulant, etc. Pourtant les élèves ont tout naturellement utilisé cet artefact technologique. La discussion d'idées formulées dans cet artefact conceptuel est le cœur du dispositif et le but de produire un document pour les examens rend très logique de discuter directement sur la base ce document. Ainsi le choix d'un seul artefact technologique au cœur du dispositif est plutôt confirmé.

D'autre part, plusieurs élèves voient aussi les limites de ces présentations, notamment parce que ceux qui présentent leur exposé après fignolent leur propre exposé et n'écoutent pas bien l'exposé en cours – ce que d'ailleurs chacun a pu observer dans une conférence ou un congrès.

> Intéressant pour l'interraction, mais il faut avouer que ça ns rajoute beaucoup de travail, et qu'il est difficile d'écouter les autres exposés quand on passe en dernier ( relecture etc...)

Les perceptions des élèves sont donc un indice que ces exposés contribuent aux apprentissages réels, que des activités cognitives de haut niveau se produisent lorsque les élèves décident quelles sources sont plus valables que d'autres. Ce sont des activités cognitives de haut niveau (5) que (Crowe, et al., 2008) décrivent comme « *Create something new using/ combining disparate sources of information* » sont impliquées que lorsque les élèves font la synthèse de plusieurs documents en vue de répondre à une question précise et peut-être le niveau évaluation (6) que (Crowe, et al., 2008) décrivent comme « *Determine/Critique relative value* ».

Par ailleurs, les commentaires des élèves discutent très majoritairement (70) dans le plan didactique : l'efficacité pour apprendre ou pour développer des connaissances. On peut interpréter cela comme signifiant que les élèves poursuivent des buts de maîtrise plutôt que de performance et qu'effectivement des connaissances de haut niveau sont développées.

Même si on argumente que le questionnaire et le contexte incitent à placer la discussion dans ce plan, le fait que la quasi-totalité des élèves puissent développer des arguments et discuter des stratégies d'apprentissage est un indice d'implication des élèves dans leurs apprentissages et suggère que les textes produits dans les wikis sont plus que des compilations.

De plus, ces résultats confirment le rôle du questionnaire comme outil de prise de conscience métacognitive et confirme qu'une approche centrée sur les contenus disciplinaires et visibilisant d'abord la production des savoirs est opportune (ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis). Ces résultats confirment aussi un élément du design d'inspiration *minimaliste* (Carrol, 1998) : ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages.

A la question :

> 4) Etes-vous plus fiers de vos fascicules ou plutôt de ce que vous savez ?

Les réponses pour les années 2008 (4OS) et 2009 (3OS et 4 OS) N=39 indiquent plutôt un sentiment de compétence :

21 items de réponse désignent les connaissances comme principal objet de fierté.

9 items de réponse désignent les deux.

7 items de réponse désignent le fascicule rassemblant les documents wiki comme principal objet de fierté. Elles manifestent la fierté du travail réalisé.

4 items de réponses indiquent que les deux sont équivalents, que les fascicules révèlent les savoirs.

4 items de réponses manifestent que les savoirs dans son propre sous-thème sont meilleurs.

3 items de réponses sont impossibles à classer.

Exemples de réponses :

> le fait de faire de bons fascicules est bien aussi, car cela veut dire tout d'abord qu'on a compris le sujet mais aussi qu'on a su l'expliquer clairement de manière à ce que d'autre personnes puissent accéder à ce sujet
>
> des deux.....sa fait plaisir de dire aux autre classes d'aller voir nos pages pour leurs épreuves! deplus, le fait de les avoir, c'est un très bon résumé de notre savoir! :-D

On peut interpréter ces réponses comme indiquant un but de compétence plutôt qu'un but de maîtrise : ils se réfèrent à leurs propres connaissances et non pas aux résultats scolaires ou à la comparaison sociale. Ce sont des indices que les élèves se sentent bien responsables des questions ou à tout le moins des réponses. Ces résultats suggèrent fortement que la production fait du sens pour les élèves confirmant l'élément de design ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe.

Nous avons discuté l'importance que l'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document qui fasse du sens pour les élèves (ED8). Ces résultats suggèrent que c'est bien le cas. Nous avons aussi discuté l'importance d'une réelle clarté de tous les acteurs sur le rôle de ce document wiki co-construit et de son statut d'artefact conceptuel : il n'est pas un but mais un moyen qui supporte la construction de connaissances. Ces résultats suggèrent que les élèves ont compris ce texte comme un moyen d'apprentissage. Cela confirme l'élément de design ED8 et suggère que l'activité IIIb pourrait avoir clarifié le rôle de ce document en autorisant son usage lors d'un petit examen : son statut d'aide à la préparation en est manifesté de manière concrète (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves).

Sur un autre plan, plusieurs élèves ont explicitement mentionné dans le questionnaire de fin d'année une meilleure compréhension comme facteur de motivation confirmant le plaisir d'apprendre que donne la saveur des savoirs (Astolfi, 2008) :

> J'aime beaucoup cette manière de travailler. Pendant les 3 ans que je fait la biologie, c'est la premier année que je me suis autant appliqué afin de comprendre la matière. Pour moi, la biologie était de l'appris par cœur: je apprenais par cœur le cour que la prof nous donnait sans vraiment essayer de comprendre les mécanismes. Je me suis jamais posée la question pourquoi, je faisais tout bêtement. Justement le fait de devoir en quelque sorte préparer le cour pour mes camarades ma poussé à essayer de comprendre plus les mécanismes. Du coup la biologie est devenu beaucoup plus intéressant pour moi.
>
> le fascicule en soi une fois ingéré devient obsolète et on devient notre propre wiki!

Nous interprétons ces données comme une confirmation assez forte que le processus d'écriture et de présentation produit bien des connaissances ou du moins que les élèves ont cette perception. Les présentations intermédiaires semblent être une activité efficace pour prendre la mesure des connaissances et redéfinir les questions pour relancer la phase deux de l'investigation. Les données suggèrent que les élèves poursuivaient des buts de compétence et que leur implication élevée dans l'apprentissage conduit à des apprentissages de haut niveau. Les élèves ont fait des commentaires sur l'articulation écriture – présentation – écriture qui suggèrent qu'elle développe

des réflexions métacognitives – des indices que les connaissances sont étayées et justifiées en référence aux sources, leur donnant au moins un peu d'épaisseur scientifique.

Les éléments de design qui sont liés à cette production de connaissances sont ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel, ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant) : le feed-back en termes de confrontation aux sources d'autorité scientifique trouvées dans les ressources (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes). Ces données confirment le rôle de la production et les conditions de la régulation par l'enseignant.

Globalement on peut argumenter que ce dispositif rend la plupart des élèves capables de construire des connaissances de haut niveau. Mais sont-elles scientifiques, c'est-à-dire validées en référence (au moins indirecte) à des données, à des sources authentiques (au moins différentes des documents du maître), ces liens sont-ils discutés (au moins un peu) : en somme ont-elles une épaisseur scientifique ?

### 6.2.4 **Résultats : les savoirs produits sont-ils conformes aux exigences scolaires ?**

Les élèves se sont avérés capables de réussir les examens finaux avec des scores plutôt favorables, mais comme ces examens ne sont pas standardisés, (cela a été discuté dans la méthodologie : Cf. section 5.4.2 (p. 157)) il est difficile d'en tirer des conclusions si ce n'est sur l'adéquation institutionnelle et l'alignement entre les objectifs, l'évaluation et les activités du dispositif que ces résultats confirment, mais de manière peu significative puisqu'il n'y a pas de critères externes. La note maximale est 6, le seuil de suffisance est 4. Aucun élève n'a obtenu une moyenne insuffisante.

| | | |
|---|---|---|
| Année 2006 | moyenne 5.2 écart-type : 0.407 | N=15 |
| Année 2009 | moyenne 5.07 écart-type : 0.616 | N=14 |
| Année 2010 | moyenne 5.1 écart-type : 0.336 | N=14 |

Les commentaires positifs lors de l'évaluation par l'examinateur de la faculté des sciences ne sont pas suffisamment formalisés comme cela a été discuté dans la méthodologie (section 5.4.1 (p. 155)), aussi nous ne les prendrons pas en compte.

L'évaluation par un expert (cf. méthodologie section 5.3.1 (p. 144)) est présentée intégralement en annexe 10.3 (p. 368). La synthèse de ces rapports révèle que sur les années étudiées :

- L'adéquation aux plans d'étude est systématiquement jugée très bonne, même au début de l'année.
- Le niveau de formulation est jugé *très bon* à *bon* sauf l'année 2010 où il manque de précision et au début de l'année où il n'est jugé que *bon*.
- La qualité des explications et l'exactitude sont jugées *très bons* à *bons* sauf de nouveau en 2010 et au début de l'année où il est jugé *bon*.
- L'exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus n'est pas vraiment documentée par l'expert.
- Globalement, il indique que ces documents sont jugés *très bons* pour préparer l'examen, et juste *suffisants* pour celui de 2010.
- Le document de début de l'année est jugé nettement moins abouti.

L'expert déborde par moments des questions posées pour discuter d'autres aspects pédagogiques du dispositif qui ne sont pas explicités dans le document étudié. Par exemple l'expert ne paraît pas avoir tout à fait compris le découpage des thèmes puisqu'il indique la faiblesse sur l'immunité passive, la structure des anticorps et les vaccins qui sont investigués par d'autres élèves travaillant en parallèle dans des documents séparés. Nous n'avons pas pris en compte les remarques qui dépassaient du cadre d'analyses pour lequel il était mandaté.

Par ailleurs, on peut rappeler ici que le document analysé l'année 2010 correspond à des circonstances défavorables (pour la disponibilité de l'enseignant et dans l'échantillonnage des élèves du groupe étudié).

Ainsi ces rapports de l'expert suggèrent que le dispositif produit au début de l'année des résultats peu convaincants en termes de savoirs manifestés dans la production des élèves selon les critères traditionnels du contexte scolaire. En fin d'année, l'expert indique que le dispositif produit des savoirs pertinents dans l'institution et constituant en général une préparation adéquate voire très bonne aux examens de maturité.

*Les élèves estiment-ils avoir bien appris ?*

Nous allons maintenant mettre ces résultats en rapport avec ceux des questionnaires post-secondaires qui fournissent des éléments de réponse à ces questions de qualité et de pertinence des savoirs produits. A la question :

> 6 Avez-vous l'impression que ce cours vous a bien préparé pour vos études (uni/epf, etc.) ? de Pas du tout= 1 -> tout à fait= 4

Les répondants (les années où cette question était posée (2008, 2009, 2012) confondues) ont fourni des réponses positives dans 16 cas et incertaines dans 2 cas (N=18) (cf. Méthodologie section 5.5.7 (p. 167)). Plusieurs répondants font référence à des méthodes d'apprentissage acquises. Plusieurs relèvent l'importance du saut entre le secondaire et l'université.

Exemples de commentaires représentatifs :

> C'était une bonne introduction mais rien ne peut jamais vraiment nous préparer à ce que va être l'université.
>
> Je pense que oui, notamment sur le plan de la méthode de travail et de l'apprentissage par problèmes. Avoir travaillé en groupe m'a également beaucoup apporté, même si sur le moment le cœur n'y était pas toujours!
>
> Ça m'a appris à chercher une information. Disons qu'à l'uni on n'a pas besoin de tout faire tout seul, on a quand même un cours avec un polycopié assez bien détaillé (pour certains sujets).
>
> Maintenant que je ne suis plus dans votre cours, je n'ai pas besoin de faire le lèche-botte. C'est ainsi que je vous répondrai en toute honnêteté que votre cours est le seul (avec l'allemand de madame XXX) qui m'aie réellement servi pour l'uni. En effet, on avait une grande autonomie/liberté dans notre travail. Je ne vais pas me faire des copains (sur le court terme), mais vous devriez encore plus les livrer à eux-même, exemple ne leur donnez plus les questions à l'avance pour leur sujet. A vrai dire, deux ans après, le cours de bio OS est le seul cours dont je me souviens précisément comment on travaillait preuve peut etre que ce cours etait plus proche de la façon de travailler à l'uni.
>
> A moitié, pour la médecine oui! car on reprenait (au début) les même sujets. Pour l'EPFL, je ne pense pas.....on verra l'année prochaine.

> Faut toujours etre relatif: il est indeniable que ce cours fut bien plus utile pour moi qu'un cours ordinaire (excepté math et allemand) comme le francais ou la musique. Cela dit je pense que l'on ne peut jamais etre pret pour l'uni, car l'uni c'est vraiment l'inconnu.

Les réponses obtenues sont très largement positives et globalement les répondants expriment la perception que ce dispositif les a bien préparés pour des études académiques. Avec les autres, ces résultats indiquent que l'IBL peut être efficace pour préparer à des études scientifiques et médicales exigeantes.

A la question :

> Pensez-vous avoir acquis plus, autant ou moins de connaissances que dans un cours traditionnel sur les sujets traités (moléculaire, immuno, etc): de Nettement moins bien préparé = 1 -> nettement mieux préparé = 4

Les répondants ont fourni des réponses positives dans 7 cas et nuancées dans 5 cas, surtout sur le différentiel entre leurs connaissances sur leur sous-thème par rapport aux autres groupes d'investigation (N=12). Exemples de commentaires représentatifs :

> Je pense avoir appris plus sur les sujets que j'ai traité, mais peut-être moins sur les sujets des autres. Une des raisons est sûrement le fait que je lisais une fois les Wiki avant l'épreuve ce qui est un peu léger vu le nombre d'informations à comprendre et dans l'idéal à apprendre.
>
> Sans hésiter bien plus. En cours de médecine première année, je suis loin d'être largué encore maintenant. D'ailleurs, il me prend souvent de lire pour mon plaisir des articles scientifiques.
>
> autant, mais les sujets des autres groupes sont moins restés.
>
> definitivement plus, ou en tout cas j'ai eu envie de le retenir
>
> Plutot moins mais au moins je me souviens assez bien des thèmes abordonnés dans notre groupe.
>
> Ce qui est intéressant ce n'est pas la "quantité" de savoir que l'on a appris mais plutôt la "longévité" de ce savoir. L'autre jour je suis alle voir un cours de médecine avec une amie et je n'étais pas du tout "largué" . Je pense que pendant BiOS comme a l'uni lorsqu'on ouvre un livre on apprend ce qu'on veut, ce qui nous intéresse dans le sujet, ce qui change a mon avis tout au niveau de la mémorisation. Donc pour repondre a la question, je dirai qu'a long terme on a appris beaucoup plus mais a court terme on a l'impression que l'on a appris autant voire un peu moins.

*Synthèse des réponses à la question Q1*

Ces réponses plutôt positives (16 sur 18) confirment que ce dispositif d'investigation peut produire des connaissances disciplinaires solides, des stratégies d'apprentissages ainsi que des métacognitions valables à l'université.

Le point sur lequel le plus de nuances s'expriment est le différentiel entre leurs connaissances manifestement très bonnes et durables sur leur sous-thème et leurs connaissances par rapport aux sous-thèmes traités par les autres groupes d'investigation. On se souviendra que ce choix résulte d'une conjecture issue de la recherche sur l'apprentissage coopératif (C. Buchs, et al., 2004) et vise créer une structure coopérative ED25 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs. La question reste cependant : leurs

connaissances résultant de leur propre écriture dans le wiki sont-elles nettement meilleures et simplement normales sur les autres sous-thèmes (hypothèse du surcroît de connaissance) ? Ou sont-elles un peu meilleures dans leur sous-thème et moins bonnes que la moyenne dans les autres (hypothèse du déficit de connaissance) ? A propos de ce différentiel, les remarques portant sur la qualité comparative de leurs apprentissages dans leur sous-thème sont beaucoup plus nombreuses que celles exprimant un déficit de connaissances dans les autres thèmes (un seul).

Un des observateurs note que « À partir de la moitié du cycle on peut apercevoir que les élèves font de liens entre les thématiques »[21]. Ce qui signifie qu'ils sont au clair sur les sous-thèmes des autres et qu'ils ont intégré l'interdépendance positive qui fonde la communauté apprenante.

Avec les données disponibles, il semble très difficile de distinguer ces deux cas : le différentiel est manifeste, considérable et confirmé par les trois observateurs, mais sans mesure claire et objective sur les connaissances des élèves. L'interprétation reste discutable et fortement teintée par les théories d'apprentissages dans le cadre dans lequel on les analyse.

On peut, d'un point de vue constructiviste, y voir une confirmation très claire de l'efficacité de cette forme d'investigation, notamment du rôle de l'écriture itérative, confrontée, reformulée pour extraire des informations pertinentes et les transformer en connaissances. Dans ce cas, on sera enclin à choisir l'hypothèse du surcroît de connaissances et à considérer que les élèves expriment surtout une frustration de ne pas avoir sur les autres sous-thèmes cette solidité des connaissances qu'ils ont validées eux-mêmes – le surcroît de connaissances.

On peut, d'un point de vue transmissif, behavioriste ou pédagogie de maîtrise, y voir une faiblesse du dispositif. En effet, si l'on observe que les présentations par les élèves et les documents produits sont forcément moins bons que ceux que l'enseignant aurait pu faire, qu'ils contiennent des erreurs ou des imprécisions et si on considère que ces productions reflètent les apprentissages possibles avec ces documents, on sera enclin à considérer que les apprentissages sont moins bons pour les autres groupes d'investigation. Les groupes qui ont étudié l'immunité cellulaire ou les vaccins ont reçu des informations de qualité moindre que ceux qui ont été confrontés dans leurs investigations sur l'immunité humorale au Campbell ou au Janeway.

Les observations, le rapport de l'expert et les questionnaires post-secondaires, ainsi que le cadre conceptuel, notamment l'apprentissage coopératif (Buchs, et al., 2012) nous rapprochent plutôt de la première interprétation et conduisent à privilégier l'hypothèse du surcroît. En tous cas la nécessité de ce découpage pour obtenir la responsabilité face aux pairs d'une partie des savoirs (ED25 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs) paraît l'emporter sur ce différentiel éventuel.

Nous envisageons une interprétation des réponses d'étudiants et d'enseignants qui ont observé ce dispositif – notamment ceux de l'expert – comme relevant d'un cadre d'analyse plutôt transmissif centré sur les documents que les processus d'apprentissage. Globalement ces résultats suggèrent la perception chez les répondants que ce dispositif produit des apprentissages disciplinaires de qualité élevée, au moins pour les thèmes qu'ils ont étudiés.

Cela rejoint d'autres indications qui suggèrent que l'IBL peut produire des apprentissages adéquats dans l'institution scolaire et solides sur les thèmes étudiés. Nous avançons prudemment que les apprentissages pourraient être plutôt bons aussi pour les autres thèmes, sans pouvoir l'étayer sérieusement.

Les conjectures incarnées dans les éléments de design sont plutôt confirmées : notamment les itérations du cycle IBL, particulièrement la co-écriture fortement itérative, la dissociation de

[21] Journal de suivi d'un observateur (Albert) Mars 2010

l'autorité pédagogique de l'autorité scientifique et les présentations tôt dans le cycle (ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant), ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel).

Cependant certaines conjectures ne sont pas clairement confirmées et les éléments de design correspondants restent soumises à discussion, notamment le découpage en sous-thèmes. D'une part ce découpage est lié à la conjecture plutôt confirmée qu'une posture d'expert devant les autres favorise l'approfondissement conceptuel (ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel), et ce découpage fonde la structure coopérative en créant l'interdépendance positive (ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives, ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, ED25 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs) mais d'autre part, les élèves doutent de l'efficacité de la mutualisation des savoirs. La conceptualisation de la structure coopérative était inaboutie dans les dernières implémentations et il est possible qu'une explicitation aux élèves pourrait améliorer ce point. Le format intergroupe (Meirieu, 1989) est aussi une solution à explorer. Elle avait été écartée parce qu'elle semblait prendre plus de temps et peut-être la crainte qu'elle soit perçue comme « pédagogie molle » par les élèves avec le risque que cela nuise à leur investissement et rende inefficace le dispositif.

Résumons maintenant les éléments de réponse à la question de recherche Q1B : *Dans quelle mesure les connaissances acquises dans le dispositif étudié sont-elles scientifiques, adéquates dans l'institution et par rapport au paradigme de la biologie ?*

Les résultats de l'expert confirment que les savoirs présents dans les textes sont adéquats et pertinents, même dans des conditions peu favorables en termes de disponibilité des élèves et de l'enseignant. Dans la mesure où ils sont des reflets des connaissances, on peut dire qu'ils confirment les résultats aux examens, les avis des experts de l'université lors des examens finaux, les réponses au questionnaire post-secondaire et les observations en classe suggèrent que le dispositif permet de construire des connaissances adéquates au plan scolaire. Sans se risquer à comparer, on peut affirmer que ce dispositif ne conduit pas les élèves à des apprentissages lacunaires ou insuffisants selon les critères de l'institution et le jugement des ex-élèves devenus étudiants. Les données suggèrent même, sans pouvoir l'étayer, que les apprentissages sont approfondis et étendus.

Nos résultats suggèrent aussi que les élèves ont été capables de valider leurs connaissances de manière autonome, encadrés par l'autorité pédagogique, mais sevrés de l'autorité scientifique de l'enseignant. Ils ont trouvé, sélectionné parmi des ressources authentiques et surabondantes des savoirs d'expérience par procuration, ils en ont produit une synthèse pertinente au paradigme et ils ont su les assumer par écrit et par oral devant leurs pairs. Le document produit a permis les préparations aux examens finaux. Grace à ce processus ils ont pu produire des connaissances personnelles qui ont une épaisseur scientifique notable, ils ont développé certaines dimensions de la pensée scientifique et ont acquis des compétences d'intelligence informationnelle qui ont pu être exploitées dans leurs études à l'université.

Nous considérons que cela valide l'analyse des éléments de design qui constituent ce dispositif. Ces résultats confirment donc l'efficacité des grandes lignes du dispositif, notamment les exigences élevées en termes de connaissances, l'évaluation alignée sur le paradigme scientifique et la confrontation à des ressources authentiques de niveau académiques quand c'est nécessaire. (ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables,ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance, ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène, ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis).

Sur la question de l'épaisseur métacognitive qui définit les connaissances scientifiques, leur validation discutée en référence aux données et aux hypothèses qui les fondent, les résultats analysés ne permettent pas vraiment d'être affirmatifs. Si l'on considère avec Bachelard que l'école n'enseigne en général pas cette épaisseur scientifique du tout (Bachelard, 1947), on pourrait argumenter que les indices d'épaisseur modeste de ce dispositif sont un résultat intéressant. Les indices dont nous disposons sont la capacité avérée à extraire, sélectionner, synthétiser des savoirs pertinents, à oser les écrire dans un document sur lequel les pairs comptent pour se préparer aux examens et les défendre devant la classe, que nous interprétons comme des indices de validation autonome. Nous avons argumenté que le recours à des ouvrages plus authentiques (imposants et manifestement académiques, parfois des articles de littérature primaire) est un indicateur reflétant l'épaisseur scientifique des connaissances. Les résultats du questionnaire post-secondaire et l'utilisation attestée de tels ouvrages pour produire les pages wiki suggèrent que les élèves ont développé des connaissances plus proches des sources et donc d'une certaine épaisseur scientifique. L'ampleur de cette épaisseur reste encore une question ouverte et d'autres données permettront de préciser ce point. Nous avons aussi relevé des indices que ce dispositif contribue à une sophistication des épistémologies.

En réponse à la deuxième partie de la question de recherche Q1B, nous considérons donc que les connaissances que les élèves peuvent développer dans ce dispositif ont de l'épaisseur scientifique (un peu) et que cela constitue un résultat suffisamment remarquable pour en explorer les causes. Plus bas nous discuterons des éléments de design conduisant au développement des savoirs et connaissances scientifiques.

# 7 Résultats de la question de recherche Q2

Le dispositif étant décrit, et validé du point de vue curriculaire et paradigmatique, nous allons l'analyser pour chercher les liens entre certains éléments du design – incarnant des conjectures – et des effets éducatifs (*educational outcomes)*. L'objectif de cette question est de produire et de discuter la validité de recommandations de design concernant la conception et la conduite de designs d'investigation visant à développer les connaissances scientifiques.

Cela permettra dans la conclusion de les mettre en perspective et les formuler en recommandations de design (*design rules)* reliant des éléments du design et des effets attendus pour en discuter la portée et les limites.

Rappel de la question de recherche Q2 : *Comment structurer et maintenir un contrat didactique pour l'investigation scientifique de type IBL ?*

## 7.1 Résultats : Q2A Comment conduire les élèves à se focaliser sur l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ?

Nous avons formulé une sous-question que nous traiterons en même temps : *Quels sont les variables de climat et les éléments de design qui guident l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ?*

Cette question interroge les effets sur le guidage, le maintien et les connaissances développées des variables de climat ainsi que la structure – notamment coopérative – que nous avons identifiées : un but d'amélioration des connaissances partagé, une structure coopérative, notamment l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle.

Nous avons discuté que le fonctionnement d'un dispositif pouvait être décrit (Kobbe, 2005) par les activités des individus dans les groupes, confrontés à des ressources, réalisant des productions. Nous avons déjà discuté que l'observation doit prendre en compte des variables de climat (A. Collins, et al., 2004). Nous avons justifié la place centrale dans cette description des rôles effectivement endossés – et donc les responsabilités assumées face aux pairs – comme reflétant mieux les activités cognitives que les tâches prescrites.

Nous inspirant de (Bereiter, 2002) et sur la base de la conceptualisation dans les implémentations du dispositif, nous avons fait la conjecture qu'un climat de *knowledge improvement* serait crucial. Bereiter le définit comme une focalisation sur l'amélioration de la compréhension commune des idées, leur discussion épistémique, leur approfondissement, ainsi que la croyance dans la capacité à produire des connaissances valables. Cette conjecture est incarnée dans le dispositif sous la forme d'un élément de design ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté. Pour mesurer l'atteinte de ce but (variable indépendante de sortie), nous en avons recherché les effets observables : les traces d'implication dans la production qui est au cœur du dispositif, les indices (au sens de traces et non d'agrégation d'indicateurs) montrant que les élèves acceptent des responsabilités inhabituelles dans la validation, et les indicateurs attestant qu'ils ont accepté de réaliser des tâches coopératives qu'il évitent habituellement.

Cette variable – le but d'amélioration des connaissances – implique aussi une ouverture à la confrontation d'idées, au débat qui est une des variables intermédiaires de la connaissance scientifique, dont nous avons recherché comme indicateur les traces de conflits socio-cognitifs dans les écrits et les présentations.

Pour les variables de climat d'apprentissage coopératif incarné dans la structure du dispositif (ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité

individuelle pour favoriser les interactions coopératives) et la régulation des conflits socio-cognitifs dans le plan épistémique (Buchs, et al., 2008), nous avons recherché les traces d'interdépendance positive (IP) et de la responsabilité individuelle (RI).

Nous avions relevé l'importance du climat de confiance entre les individus de la communauté d'apprenants permettant la sécurité nécessaire aux confrontations socio-cognitives. Comme indicateur nous avons recherché des traces de régulations pédagogiques qui manifesteraient cette confiance dans l'engagement avant d'avoir des certitudes sur les retours des autres individus, et les indices de l'alignement (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves) que la littérature suggère être important (Brophy & Good, 1986). La confiance manifeste de la part de l'enseignant que les élèves peuvent produire des connaissances valables et pas seulement les reproduire fonde la ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables. Nous avons cherché des indices de cette confiance dans la retenue de l'enseignant que la dévolution des questions révèle (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves), dans la manière dont le feed-back s'exprime : plutôt dans l'incitation à progresser et la signalisation des incohérences plutôt que la correction directe (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité).

### 7.1.1 Dans quelle mesure le dispositif développe-t-il un but d'amélioration des connaissances partagé par les élèves ?

Pour le but d'amélioration de connaissances partagé, ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté qui s'exprime dans la structure coopérative ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives, nous avons donc cherché les signes d'une focalisation sur la production par les élèves de connaissances, en particulier sur l'amélioration en termes d'approfondissement conceptuel. Nous avons également cherché les signes d'une construction commune, de l'existence d'une communauté d'apprenants : la confrontation d'idées, la régulation des conflits socio-cognitifs dans le plan épistémique, et des signes d'interdépendance positive et de responsabilité individuelle.

*Dans quelle mesure des confrontations socio-cognitives se produisent-elles ?*

Examinons d'abord les indicateurs de confrontations socio-cognitives. Le dispositif était organisé autour d'une production commune qui était décisive pour préparer et réussir l'examen. Les interactions entre les élèves étaient beaucoup plus intenses que ce qui est usuel dans ce type d'école, les élèves l'ont indiqué à plusieurs reprises dans leurs commentaires. Par exemple, dans le questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.8 (p. 169)) un élève écrit :

> bénéfique car différents points de vue, travail de groupe est important.
> défavorable car inégalité au sein du groupe.

Une conjecture centrale de ce dispositif est que les élèves apprendraient lors des conflits socio-cognitifs produits en exposant leurs idées dans la co-écriture et lors des présentations. En effet ils passent beaucoup de temps dans ce dispositif à exprimer par écrit, présenter par oral et défendre leurs idées (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage).

Par exemple dans le questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.8 (p. 169)), un élève écrit en 2010 :

> On est obliger d'avoir une certaine autonomie, et ça nous oblige de comprendre les choses non pas seulement pour nous-même mais aussi pour les autre car justement on doit leur expliquer ce que nous avons compris.

La manière de percevoir ces exigences élevées donne des éléments pour déterminer s'ils jouent le « *classroom game* » (Lemke, 1990) avec des buts de performance ou d'évitement (pour la note, pour ne pas paraître ignorant,…) ou au contraire s'ils sont impliqués dans une production de connaissances avec des buts de maîtrise (Buchs, et al., 2008) c'est-à-dire « vraiment apprendre ».

Le questionnaire de fin d'année a interrogé leurs perceptions sur ce point avec la question :

> **14 c) Que réutiliserez-vous dans vos apprentissages futurs ? L'importance d'exposer même quand on ne sait pas tout ?**

Les résultats sont disponibles pour 3 années. Les réponses ont été codées en positif, négatif, hésitant, autres (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167))

Année 2008 : Items de réponse positifs (10), négatifs (1), hésitants (2), autres (2). N= 16

Année 2009 : Items de réponse positifs (7), négatives (3), autres (2) N= 12

Année 2010 : Items de réponse positives (8) N=8

Synthèse : La plupart des élèves répondent positivement à cette question.

Sélection de réponses typiques :

> Oui, je ne l'avais jamais fait. Les exposés éclairent énormément le sujet. On réalise ce qu'on sait-sait pas- et ce qui est important.
>
> oui, ca c'était très bénéfique et nous permettait d avancer!
>
> ça représente une aide car ça nous aide à voir les points à améliorer avant la présentation finale.
>
> non pas trop à mon avis il faut savoir se vendre et dire "je ne sais pas" ne va pas toujours nous servir dans la vie professionnelle
>
> ça prouve que nous ne cachons pas le fait que nous ne savons pas tout

On peut interpréter ces résultats et commentaires comme indiquant des buts d'apprentissage plutôt que des buts de performance (Buchs, et al., 2008) et cela constitue des indicateurs d'un but de construction de connaissances partagé.

*Le groupe-classe a-t-il fonctionné comme une communauté d'apprenants ?*

Examinons les résultats concernant le fonctionnement du groupe-classe en tant que communauté d'apprenants. Ce terme n'a pas été employé avec les élèves mais il a été question de travailler en groupe, de construire en commun un document wiki pour mieux apprendre ensemble.

Le questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) apporte des éléments de réponse sur la perception des élèves à propos du travail de groupe :

> **12) Pensez-vous que "il me sera important de savoir apprendre, étudier et travailler en équipe" ?.... noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4**

Année 2008-9-10 : Moyenne = 3.684 écart-type $\sigma$ = 0.538 N=38

Les élèves manifestent une perception claire de l'importance du travail et de l'apprentissage en équipe : une moyenne à 3.7 sur 4.

Voyons leur perception du travail effectué en groupe dans le dispositif :

> 13 a) Le fait de travailler en groupes de 3-4 était-il plutôt :....
> noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Défavorable 1...Bénéfique 4

Année 2010 : Moyenne =2.056 écart-type $\sigma$ = 1.013 N= 8

Année 2011 : Moyenne =2.68 écart-type $\sigma$ = 1.030 N= 12

La moyenne des élèves exprime une perception légèrement négative ou à peine favorable du travail de groupe sur l'apprentissage dans ce dispositif, mais l'écart-type est important. Il doit y avoir des perceptions très diverses de ce point. Leur perception du travail effectué en groupe dans le dispositif est donc plus contrastée par rapport à l'importance qu'ils expriment à la question 12.

Le questionnaire post-secondaire fournit des résultats à propos du travail en groupe. La question était :

> **4 Avez-vous l'impression que ce cours vous a aidé-e pour pratiquer l'apprentissage en groupe ? de Pas bien préparé = 1 -> Très bien préparé = 4**

Les répondants au questionnaire post-secondaire (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) ont fourni des réponses positives dans 8 cas et négatives dans 4 cas (année 2010, N=12).

Les résultats à moyen terme indiquent par contraste avec ceux dans le secondaire une perception plutôt positive des effets du travail en groupe.

Exemples de commentaires représentatifs :

> Oui beaucoup. Cette année nous avons travaillé presque exclusivement en groupe et l'expérience acquise en 4OS m'a beaucoup servi.
>
> Pas vraiment chacun faisait son sujet de son côté.
>
> Disons à moitié, pour les exposés oui ça m'a appris à devoir m'accorder avec les autres, mais pour le reste du travail, chacun faisait sa partie sans vraiment qu'il y ait d'interactions.
>
> Je crois que c'est ce qui est le plus important. Car tous les 3 mois j'ai des gros travaux de groupe (scientifique ou non). Dans 1 semaine et demi, mon groupe et moi devons trouver des concepts marketing pour une marque de vêtements de sport.
>
> Il m'a surtout fait réaliser les difficultés du travail de groupe. Les différences de motivations et d'envie de bien faire. Pas tout le monde se donne au maximum dans un travail de groupe, et ce n'est pas évident pour ceux qui veulent donner leur maximum. Et vice-versa j'imagine.
>
> l'armée m'a plus aidé dans ce domaine, je crois APPReCIER travailler en groupe uniquement quand tout le monde est au même niveau, dans la *.''
>
> Pour chaque matiere a quelques exceptions près, je dois travailler en groupe pendant une durée variant d'un mois a un an. Donc oui, je pense

> que le fait de rendre un travail ecrit toutes les semaines et de recevoir une seule note pour le groupe entier m'ont aide.

Les réponses obtenues pour le travail de groupe sont globalement plutôt nuancées, mais avec une tendance positive qui apparaît nettement dans le questionnaire post-secondaire. Ces résultats peuvent être compris comme une tension entre la nécessité – perçue par les élèves – de savoir travailler en groupe, et l'inconfort qu'il procure. Notamment la frustration souvent mentionnée lorsque la dynamique de groupe installe les classiques rôles complémentaires de *lone star et free-rider*.

Il y a une sorte de paradoxe : un sentiment négatif teinte les perceptions du travail en groupe alors que des résultats éducatifs positifs liés au travail coopératif – forcément de groupe – sont reconnus par la grande majorité des élèves et confirmés par l'expert (cf. méthodologie section 5.4.2, (p. 157)) : une production commune de qualité et dont l'efficacité pour apprendre est reconnue, des interactions reconnues comme efficaces pour améliorer les connaissances lors des présentations, la perception d'avoir appris à travailler ensemble indiquée dans le questionnaire post-secondaire, etc. On peut se demander si ces effets éducatifs positifs, des indicateurs valables d'un but d'apprentissage partagé ne sont pas masqués par un sentiment d'inconfort dû à l'obligation de travailler en groupe.

Un des observateurs note que durant les activités de recherche en classe « Ils se passent des informations intergroupes (livres). » indiquant que les élèves ont conscience du découpage des sujets et de l'importance d'aider l'ensemble du groupe.

Le regard externe sur l'activité confirme le rôle de l'écriture publique dans l'implication des élèves :

> Cette méthode les oblige à travailler...à "brancher le cerveau"...surtout au sein d'un groupe d'une dizaine d'élèves...Ils ne peuvent pas se cacher... Journal d'une observatrice (Eléonore) 14 février 2005.

Propos d'un élève lors du bilan de l'activité (2006) :

> Dans les autres cours, on attend quelques instants et le prof' donne la réponse alors on se fatigue pas à réfléchir, on note, et finalement on doit tout refaire le travail de comprendre à la maison.

On peut interpréter ces résultats comme confirmant la responsabilité individuelle qui est une composante du climat coopératif.

Les cas d'intervention d'élèves dans le texte des autres groupes ne sont pas fréquents. Dans plusieurs cas, deux questions indiquées comme synonymes par l'enseignant ou le élève-coordinateur ont été fusionnées (subsumption) et les textes de plusieurs contributeurs intégrés en une réponse améliorée. Il y a aussi eu des cas ou une question traitée par un groupe d'investigation a été attribuée à un autre groupe lors de l'activité 4 : « Présentation aux pairs et redéfinition des questions » et la réponse a été transférée avec. Des cas d'interventions spontanées dans le texte d'autres groupes sont restés rares malgré les incitations de l'enseignant et se sont plutôt produites à la fin de la période, lors des révisions avant l'examen.

Le journal d'une observatrice suggère qu'un climat inhabituel de coopération est en place vers la fin de l'année :

> Je remarque plus particulièrement dans ce cours que quelque chose se met en place. Les élèves ne restent pas à leur table, mais se déplacent pour aller utiliser les ordi, bref, il y a des élèves "un peu partout"...ils ne partent pas en pause (!)... Carnet de bord d'une observatrice (Eléonore) 10 janvier 2005.

D'autres observations confirment que la mise en place d'un contrat didactique passe par un rapport de confiance qui met du temps à se construire : 3 semaines plus tard :

> [L'enseignant] montre les réactions d'élèves ayant suivi le même style de méthode d'apprentissage. Les élèves sont "réveillés" = je ne sais pas trop ce qu'il se passe dans leur tête...quelque chose de réflexif... […]Rappel du "contrat" qui se met en place : Responsabilité de qualité envers les autres. Aussi bien pour les textes produits dans le wiki que pour les exposés. […] On finit le cours sur une note extrêmement optimiste : une gaité dans l'air :)... [L'enseignant] leur dit qu'il est content de faire cette expérience avec eux et le retour est chaleureux. "Nous aussi". Les élèves sont relativement enthousiastes. Chacun a pu visualiser la période de l'évolution dont il va s'occuper. J'ai l'impression d'un déclic = ils ont compris qu'ils vont travailler de cette façon jusqu'à la fin de l'année et enfin ils l'intègrent/ ils en prennent leur partie / ils entrent en dévolution vis à vis de la méthode d'apprentissage...A suivre...Peut-être le petit discours réflexif du début de cours y est aussi pour quelque chose. Carnet de bord d'une observatrice (Eléonore) 31 janvier 2005

Vu les autres données comme leurs appréciations sur les activités de groupe, on peut interpréter ces résultats comme des signes d'existence – partielle peut-être – d'une communauté d'apprenants et d'un sentiment d'interdépendance positive.

Nous interprétons l'ensemble de ces résultats comme des signes de fonctionnement de la communauté d'apprenants (les wikis ont été produits ensemble, avec les présentations ils sont efficaces pour apprendre, les élèves ont appris des solides connaissances en biologie en travaillant ensemble, etc.).

Il semble toutefois que conflits socio-cognitifs recherchés n'ont pas été résolus sur le plan épistémique et que des régulations relationnelles n'ont pas complètement été évitées (avec comme indices notamment les frustrations liées aux *free-rider / lone star*). Même si on considère qu'elles ont peut-être été ressenties très fortement et teintent la perception de l'efficacité pédagogique du conflit d'idées qui fonde le *travail de groupe* comme il est nommé dans ce questionnaire. Les régulations par l'enseignant des relations dans le groupe (notamment *free-rider / lone star*) n'ont peut-être pas suffi à créer le climat coopératif qui favorise les effets d'apprentissage du conflit et le situe dans le plan socio-cognitif.

Globalement, ces résultats confirment – mais avec une marge de progression importante – plusieurs conjectures incarnées dans le dispositif : la co-écriture dans un espace partagé (CJ5), les présentations au groupe tôt dans l'investigation (ED2), des éléments de design destinés à favoriser la coopération (RD3) : les résultats d'évaluations attribués au groupe d'investigation entier, la production commune, le but de cette production comme préparation des examens. Ainsi une réflexion sur les manières de les modifier pour maximiser une des variable de climat – but d'apprentissage partagé (RD2) – gagnerait sans doute à mieux tirer parti des travaux sur l'apprentissage coopératif et les communautés d'apprenants.

Comment ces éléments de design pourraient être améliorés sera discuté dans la conclusion, mais ces résultats suggèrent l'importance de réduire la frustration des effets de « *lone star / free-rider* » et de mieux visibiliser les effets sur l'apprentissage du but d'amélioration de connaissances partagé.

### 7.1.2 **Résultats : Dans quelle mesure les connaissances sont-elles le résultat de confrontations ?**

Les éléments de design du dispositif : la confrontation dans la co-écriture, les feed-back par confrontation mènent-ils vraiment à des confrontations d'idées pour former les connaissances ?

Les traces sont légères : dans le questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)), une seule réponse évoque explicitement ce point :

> Bénéfique car ca partage le travail et il peut y avoir des discussions, des arguments ce qui nous permet d'avancer dans le sujet.

Par ailleurs le journal des observations de l'enseignant en milieu d'année indique que les groupes présentant à leurs pairs (Activité III) ont de la peine à entrer dans la confrontation d'idées et s'emploient plutôt à défendre leur idée. Pourtant la consigne est qu'il s'agit de tenter d'expliquer son sujet et de repérer les faiblesses de son document wiki pour l'améliorer. Journal d'observation de l'enseignant, 17 novembre 2009

Les remarques des observateurs en fin d'année et les observations de l'enseignant, ainsi que les productions finales suggèrent que ces confrontations se seraient un peu produites, mais les traces sont ténues et nous resterons prudents sur ce point, à la fois parce qu'il est notoirement difficile d'obtenir que les élèves entrent dans les confrontations socio-cognitives et parce qu'une partie des données sont dépendantes de la lucidité de l'enseignant.

L'analyse des questionnaires de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) fournit des indicateurs indirects que les élèves ont trouvé le wiki utile pour préparer l'examen :

> **11b) Avez-vous changé votre manière de voir L'écriture à plusieurs sur un document ?**

Les résultats ont été classé en items de réponse positifs sur la co-écriture (10), mitigés (3), négatifs (13). L'inégalité dans l'investissement a été relevée le plus souvent (8), les problèmes de territorialité du texte (5), l'importance de bien organiser la co-écriture (6), mais aussi la richesse des interactions et la répartition de la charge de travail (3).

Ces résultats confirment que la co-écriture est vécue difficilement, en particulier de la perception d'inégalités dans l'investissement, ce qui met bien en évidence la nécessité d'une régulation par l'autorité pédagogique.

Quelques réponses typiques :

> Oui, c'est bien d'avoir différent points de vue
>
> oui, savoir être critique et ne pas penser qu'ils ont forcément fait juste
>
> On arrive à avoir plusieurs points de vue, ceci n'est pas négligeable. On sait pas conséquent si notre texte est bien organiser et aussi compréhensible.
>
> Non je ne relis que si l'on me le demande par contre lors de la révision avant l'examen je n'hésite pas à modifier ce qui me paraît faux et dont j'ai une réponse différente d'une meilleure source
>
> Ils ont une façon différentes de synthétiser ce qui peut géner quelques fois.
>
> Difficile, pas les mêmes manières de formuler. (parfois les phrases deviennent trop compliquées car souhait de certains de faire de belles phrases, pas très compréhensible de déchiffrer ce que qqun à compris mais n'explique pas dans la totalité.)
>
> Pas vraiment, c'est toujours aussi frustrant de s'être fait ejecter un texte dans lequel on s'est investi.

Les autres résultats suggèrent tout de même que la co-écriture a contribué à des apprentissages – dont la qualité paraît bien établie – notamment par la nature publique de ces écrits, la nécessité de les présenter devant les pairs, et la responsabilité face aux autres de produire une synthèse de qualité. Bien que difficiles à établir solidement, ces aspects ont été décrits dans la littérature (Horman, 2005) et confirmés par nos observations : un wiki partagé suscite une conscience permanente d'un public destinataire de leurs écrits. Cette confiance se manifeste par exemple dans le souci de certains élèves que leurs textes soient compréhensibles, qu'on peut interpréter comme une confrontation intériorisée aux réactions des autres et une manifestation de la responsabilité envers eux. Par rapport aux textes destinés à l'enseignant habituellement produits en classe, les indices de confrontations d'idées sont rares mais bien présents.

Si les élèves semblent s'être investis beaucoup plus dans ces processus d'apprentissages, il reste sans doute bien de la marge pour améliorer le dispositif en termes de prise de conscience de l'importance de la co-écriture au moins.

### 7.1.3 La nature des interventions dans le texte par les élèves révèle-t-elle des confrontations socio-cognitives ?

Les interventions dans le texte par les élèves : elles peuvent être des ajouts en mosaïque qui ne prennent pas en compte le reste du texte, ne s'y intègrent pas, ou des relectures et clarifications qui modifient les textes ou s'intègrent au texte existant, visent l'amélioration d'un texte par l'approfondissement ou la cohérence. (cf. méthodologie section 5.5.6 (p. 166))

Exemple d'intervention de clarification dans une page sur la physiologie des synapses [22] :

> Les fruits de la belladone (Atropa belladone) contiennent de l'atropine qui bloque les récepteurs de l'acétylcholine dans le coeur.

Ce texte est devenu quelques versions plus tard[23] :

> Enfin, l'atropine est une substance se trouvant dans la belladone. Elle est un antagoniste de l'acétylcholine. Elle se place donc sur les récepteurs à acétylcholine de la membrane post synaptique. Elle a pour effet de fermer les canaux à sodium, ainsi elle prend la place des neurotransmetteurs et empêche l'influx nerveux d'être transmis.Ceci a pour effet une paralysie "molle".

Malgré ces traces encourageantes, la réticence à la confrontation est manifestée dans l'ingéniosité des élèves à détourner les consignes visant le travail collaboratif : lorsqu'ils recevaient des feed-back de l'enseignant sur papier (commentaires au stylo vert sur l'impression du document wiki), nous avons vu parfois les élèves sortir une paire de ciseaux et découper les questions pour se répartir les parties que chacun allait gérer.

L'observation des textes et les commentaires des observateurs montrent plutôt des ajouts en mosaïque au début, et des modifications de type relecture et clarification plus fréquentes au cours de l'année (*yearlong*). L'analyse stratigraphique rapide suggère que dans la progression au cours d'une investigation, les interventions sont plutôt mosaïques au début et les interventions de relecture et clarification n'apparaissent que vers la fin, surtout depuis la mise en place d'un élève-coordinateur. La mise à l'épreuve, en début d'année, des textes dans un petit examen noté (Activité IIIb) semble avoir contribué à transformer les interventions de type mosaïque en

[22] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/CholinErgiques?version=3
[23] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/CholinErgiques?version=29

modifications chez plusieurs élèves. Un élève indique par exemple dans le questionnaire (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) de fin d'année 2009 :

> J'ose à présent modifier ou suggérer de modifier tel ou tel texte que je ne trouve pas adéquat.

L'introduction d'un élève-coordinateur du texte dès 2006 a amélioré la cohérence du texte. Le fait que dans le groupe d'investigation étudié en 2010 la coordinatrice n'ait pas vraiment joué ce rôle explique un peu la qualité réduite de cette page et souligne l'importance de ce rôle.

Le texte est aussi le lieu de partage des commentaires destinés à la régulation de la collaboration entre les élèves. Exemple d'une telle intervention dans une page sur la physiologie de la douleur [24] :

> Qu'elles sont les dernières avancées de la recherche?
>
> (A MICHEL ET VIRGINIE: VOUS VOULEZ VRAIMENT METTRE CA ????? MOI JE COMPREND RIEN, C'EST HYPER COMPLIQUE ET PAS TRES IMPORTANT !!! REPONDEZ: )
>
> La transmission du message douloureux implique des mécanismes moléculaires complexes, encore loin d'être élucidés. Récemment, une équipe américaine a révélé le rôle dans la perception de la douleur d'une molécule, l'hypocrétine, déficiente dans l'hypothalamus des sujets atteints de narcolepsie (accès de sommeil incontrôlable). Des Japonais ont découvert chez le rat une protéine particulière, le purinorécepteur P2X4, dont l'abondance dans la moelle épinière semble en cause dans les douleurs dites neuropathiques. En 2002, une équipe de chercheurs a montré que l'absence chez la souris d'un gène appelé "dream" provoque une perte quasi totale de sensibilité à la douleur. Ce gène module la production de dynorphine, substance impliquée dans la transmission des signaux douloureux. Cette année, deux formes mutées d'une enzyme cérébrale- Hyperactive chez les "durs au mal" et peu active chez les "douillets"- ont même été identifiées. Cette enzyme est responsable de la dégradation de deux neuromessagers, la dopamine et la noradrénaline. Des scientifiques ont montré par ailleurs qu'un gène associé aux cheveux roux et à la peau claire améliore chez la femme la réponse à certains traitements analgésiques.

Même si ces commentaires ne sont pas très diplomatiques, ils révèlent que les élèves ont investi l'espace d'écriture puisqu'ils y écrivent avec leur langage familier. Le fait que ces commentaires s'adressent aux autres élèves suggère que l'auteur a accepté une part de responsabilité et qu'il-elle incite les autres à assumer la leur. Le commentaire porte sur l'implication et situe donc la régulation entre élèves : c'est de l'écriture de *leur* texte dont *ils* discutent. Le wiki réifie les interactions et les rend visibles, donc gérables par l'enseignant si nécessaire.

Il rend aussi visible l'activité des pairs ou son absence. Nous avons discuté plus haut comment la conscience que les autres font effectivement leur part est un facteur de l'implication des élèves, probablement devenus méfiants du travail « de groupe » où l'insuffisance de la responsabilité individuelle installe les trop classiques rôles complémentaires *lone star* et *free-rider*. Un-e élève dit par exemple à propos du travail en groupe :

> « J'ai horreur de ça! Trop d'inégalité dans le partage du travail... »

[24] *http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/PhysioDouleur?version=21*

L'analyse quantitative dans la seule classe où les résultats annuels étaient disponibles (2009) révèle que ces résultats scolaires corrèlent positivement avec la perception du wiki comme aide au travail de groupe (0.398 significatif à 0.01). On peut tenter une interprétation prudente : qu'on trouve des *lone star* parmi les élèves aux résultats les meilleurs en classe et que la manifestation du travail des autres dans le wiki les aurait rassurés. Faute de vérification possible, nous ne prendrons pas ce résultat en compte.

Cependant les élèves ont souvent indiqué qu'ils observent si les autres du groupe d'investigation ont fait leur part dans le wiki et que cela influence leur investissement. Comme l'implication nécessaire dans le dispositif est très forte, et que les indices habituels de l'activité des autres sont absents lors du travail dans un espace d'écriture, hors de classe et notamment à domicile, l'importance de ces signes d'*awareness* de l'engagement des autres pour éviter une démotivation (crainte que l'autre soit *free-rider* (Kerr & Bruun, 1983)) est sans doute considérable : elle constitue un facteur explicitant la responsabilité individuelle qui contribue à créer et maintenir le climat coopératif et le but d'amélioration des connaissances partagé.

**10f) Le wiki a plutôt joué le rôle de :**
**"Awareness" : conscience que les autres contribuent effectivement....**
**noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4**

Années 2009-10 : Moyenne =2.71 écart-type $\sigma = 0.976$ N=28

Un exemple de réponse (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) illustre ce rôle du wiki :

Ca nous aide à avoir confiance en l'autre, car on ne se voit pas en dehors des cours pour le wiki.

Les élèves manifestent en légère majorité le sentiment que le wiki a joué un rôle dans la conscience de l'activité des autres.

Il faut noter que le questionnaire post-secondaire était formulé de manière à suggérer que les rôles étaient exclusifs : « Le wiki a **plutôt** joué le rôle de » suivi d'une liste de rôles possibles étaient proposés. Il est possible que les élèves n'aient pas perçu ce rôle du wiki comme le principal. Par ailleurs il est aussi possible que ces résultats indiquent une insatisfaction sur le plan de la contribution des autres : le wiki n'aurait pas suffi à donner la conscience que les autres contribuent effectivement.

Nous avons discuté de l'importance de ce sentiment de conscience de l'activité des autres *(awareness)* dans l'activité d'établissement du contrat didactique en début d'année, alors que ces données – à la fin de l'année – révèlent ce que les élèves pensent lorsque le dispositif est bien rodé et son efficacité établie. On peut aussi supposer que cette affordance du wiki n'a plus un rôle important à ce moment-là.

Finalement ces résultats sur la conscience de l'activité des autres dans le wiki sont ambigus et nous leur accordons peu de poids, si ce n'est pour confirmer la nécessité d'explorer encore les moyens d'encourager le travail collaboratif.

### 7.1.4 La co-écriture supporte-t-elle des confrontations d'idées ?

La co-écriture dans un espace partagé est au cœur du dispositif : ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), exprimant la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage. Nous avons mis en place une structure coopérative et cherché à développer un

climat centré sur l'apprentissage approfondi de la biologie (ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis, ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté). Nous avons vu que ces confrontations sont efficaces pour l'apprentissage si elles sont régulées de manière épistémique et non relationnelle et avons mis en place plusieurs éléments de design à cet effet (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel, ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs, ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité).

Nous avons cherché des traces de ces confrontations dans les questionnaires de fin d'année et dans le questionnaire post-secondaire. D'autres résultats issus des textes wiki et des journaux des observateurs seront discutés plus bas.

Dans le questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)), une question interroge les représentations des élèves à propos de la co-écriture :

> **11b) Avez-vous changé votre manière de voir l'écriture à plusieurs sur un document ?**

Une synthèse des réponses en texte libre révèle que la perception de ce rôle de support à la co-écriture est très nuancée. Si plusieurs y voient une aide pour l'efficacité des apprentissages (13), des difficultés liées à la territorialité du texte (11) et les problèmes d'investissement inégal (10) sont très souvent mentionnés. (N=39).

A propos de la difficulté à affronter le conflit que nous avions appelé territorialité du texte, un-e élève indique par exemple que :

> « Ca reste assez délicat. on a toujours peur de modifier le texte de quelqu'un d'autre de peur qu'il/elle le prenne mal. »

Ainsi plusieurs indices suggèrent que le travail coopératif et la confrontation d'idées semblent avoir aidé à construire les connaissances, mais que les élèves ont perçu de manière variée et parfois douloureuse ces confrontations :

> Je pense que oui, notamment sur le plan de la méthode de travail et de l'apprentissage par problèmes. Avoir travaillé en groupe m'a également beaucoup apporté, même si sur le moment le cœur n'y était pas toujours!

Les éléments de design confirmés par ces résultats sont ceux qui manifestent la responsabilité individuelle (RI) comme la manière de réguler les interventions individuelles dans le wiki, la signalisation des participations individuelles, et celles qui développent l'interdépendance positive (IP).

Malgré les tentatives d'articuler l'IP + RI et une attention portée à la structure coopérative (ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives), il faut bien reconnaître que les résultats sont assez difficiles à interpréter. Effectivement, on sait combien il est difficile de créer un climat coopératif (Butera, et al., 2006) dans une société et une école qui incitent en permanence à la compétition et renforcent l'idée que l'apprentissage y gagnerait.

### 7.1.5 **Quel est l'effet des variables d'attitudes sur l'apprentissage scientifique ?**

Nous avions conjecturé que le dispositif devait dissocier les évaluations certificatives et formatives, prévoir des évaluations formatives nombreuses, bienveillantes, incitant à la progression, un climat tolérant l'erreur (cf. section 4.3.9 (p. 105)). C'est l'élément de design ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté.

Comme indicateurs de ce but, nous avons d'abord recherché les traces d'implication dans la production qui est au cœur du dispositif, les indices (sens enquête) que les élèves acceptent des responsabilités inhabituelles dans la validation, et les indices qu'ils ont accepté de réaliser des tâches coopératives.

Nous constatons que l'intensité et la direction de la motivation (*motivation vecteur*) étaient inhabituellement élevées : les élèves ont effectivement produit beaucoup dans le wiki (par élève environ 1100 mots en 3 semaines), les réponses sont effectivement conceptuellement liées aux questions. La qualité de ces réponses est bonne selon l'expert (cf. méthodologie section 5.4.2, (p. 157)). Nous interprétons ce résultat comme une indication qu'une évaluation formative (ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance) a pu effectivement influencer la direction de la motivation vers un but d'amélioration de connaissances partagé.

La nature de l'évaluation, et la transparence de ses critères sont un point très sensible de la confiance des élèves dans le dispositif et de leur investissement (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance,ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur). Nous allons examiner les traces dont nous disposons sur cette confiance.

L'année 2004 (2ème OS) dans le bilan réalisé avec la classe par oral, en novembre on retrouve l'indication :

> Rapport de confiance : Ce type d'activité suppose une relation de confiance entre le prof et les élèves d'une part, et entre les élèves du groupe d'autre part.

Dans leurs journaux deux des observateurs discutent de la confiance que les élèves manifestent dans ce dispositif en des termes positifs. Les autres n'en conservent pas trace explicite, mais relèvent l'investissement inhabituel, ce qui peut être interprété comme un indice de confiance si on se réfère à la formule de Houssaye « Les élèves ne résistent pas tant à l'apprentissage qu'aux situations dans lesquelles ils redoutent de ne pas réussir à apprendre » (Houssaye, 1993)

Une élève relève dans le questionnaire post-secondaire (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) :

> Personnellement, dans n'importe quelle situation d'apprentissage, […] si je n'ai pas entière confiance dans le dispositif je vais essayer d'en savoir plus par d'autres sources, afin de compléter ce qui ne me paraît pas clair ou ce qui me semble manquer.
>
> Je pense que la confiance dépend beaucoup de l'enseignant car c'est lui qui pose le cadre, mais également des différents membres des groupes et de leur implication personnelle. Même si le prof met les élèves en confiance, s'il y a des élèves que ne s'impliquent pas ou ne donnent pas l'impression

de s'impliquer, il sera difficile que les membres du groupe se sentent sûrs d'apprendre sur son travail.

L'ensemble de ces indicateurs suggère que l'investissement des pairs dans le dispositif est un facteur limitant l'investissement de chacun. Ils sont en accord avec ce que nous avons discuté de la littérature sur le conflit socio-cognitif et les régulations sociales (aversion à l'injustice des *free riders*). Ils suggèrent aussi l'importance d'une autorité pédagogique bien affirmée dans la répartition des tâches – notamment des interventions incitant les *free riders* à s'investir, et les *lone star* à déléguer – des activités destinées à expliciter l'efficacité pédagogique du dispositif comme l'activité de test du contrat didactique, la mise à disposition et la présentation des réponses des étudiants à l'université, et sans doute la réputation de l'enseignant par « bouche à oreille » entre les volées d'étudiants.

Nous avions conjecturé que l'alignement de l'évaluation avec les activités et les objectifs favoriserait le climat de confiance et l'investissement des élèves dans le dispositif d'apprentissage. Un des éléments de design est que les questions qui ont guidé l'investigation soient reprises pour les évaluations (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance). Il y a du choix puisque les quatre documents wiki qui préparent l'examen contiennent chacun de l'ordre de 250 items conceptuels dont une cinquantaine sont des explications complexes (ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur).

Nous avons conjecturé de l'importance de distinguer apprentissage et évaluation (ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance). Il avait semblé en découler que l'évaluation certificative devrait être réservée aux examens de fin de période et les interventions d'évaluation devraient être formatives durant la majorité du semestre. Cependant nous avons observé, lors de toutes les implémentations, qu'au cours de la progression dans l'année, les élèves demandaient une évaluation chiffrée chaque fois qu'une échéance de travail dans le wiki était fixée (activité III), et exprimaient un désir d'être « payés » de leur travail en plus de voir leur investigation reconnue et confirmée.

A partir de 2006, des notes ont été attribuées aux écritures dans les wikis et aux présentations. Cette abondance de moments d'évaluation avait aussi pour but d'inciter à écrire, et aussi de diminuer le poids de chaque évaluation dans la note finale. Ce qui nous a surpris est que la motivation intrinsèque n'a pas semblé en pâtir et que la production dans le wiki n'a en tous cas pas diminué. Les implémentations du dispositif nous ont conduit à voir les notes comme une récompense symbolique attendue par les élèves renforçant la motivation intrinsèque. Si l'on considère les notes comme un facteur conduisant à des stratégies d'évitement de l'échec, il est possible que cela en diminue le potentiel angoissant, au fur et à mesure que des notes positives sont acquises. Nous pensons que le dispositif a développé un climat où la crainte de l'échec est limitée parce que l'investissement important des élèves a pu leur obtenir des notes favorables en général. Cela aurait permis que leur investissement se maintienne malgré des notes nombreuses. On peut aussi évoquer la satisfaction de la production (Perrenoud, 1998)qui donne du sens et matérialise les efforts, ou la théorie de l'engagement (Joule, 2002) selon laquelle l'engagement face aux autres conduit à plus s'investir encore. Cette question mériterait un approfondissement mais par souci de rester focalisé sur nos buts de recherche, elle reste encore ouverte.

D'autre part, il est intéressant de noter que l'accès à des questions possibles connues à l'avance n'a pas empêché des résultats scolaires (moyenne de classe 5.07 à 5.2 pour les années 2006,

2009, 2010 Cf. section 6.2.4 (p. 218)) avec une variance (0.336 à 0.616) qui n'a surpris ni l'enseignant, ni suscité de réaction des autorités scolaires, des collègues ou des élèves.

Ce sont des résultats que les élèves perçoivent probablement comme bons comparativement aux autres classes, mais certaines de leurs remarques suggèrent qu'ils les perçoivent comme justifiés par leur investissement accru. Ils ne sont pas comparables à d'autres résultats standardisés.

Le très grand investissement obtenu suggère que la disponibilité des questions à l'avance n'est pas perçue comme démagogique ou « trop facile », ce qui dévaloriserait les résultats obtenus, mais contribue à la transparence sur l'évaluation, un des points positifs attendus de l'alignement, c'est-à-dire la cohérence des activités avec les objectifs et l'évaluation.

> Le climat émotionnel ou relationnel est crucial plusieurs recherches […] attestent de l'importance des attitudes, gestions, encouragements, etc. par lesquels L'enseignant manifeste son souci que tous les élèves apprennent et sa confiance en leurs capacités […] par un ensemble de signes verbaux et non verbaux, l'enseignant efficace communique sa volonté que tous réussissent et sa conviction que ce but sera atteint. (Crahay, 2006 p.129)

Une interprétation possible est qu'un rapport de confiance, notamment la croyance que les élèves peuvent produire des connaissances – nouvelles – au moins localement (une condition pour que le *knowledge improvement* puisse avoir lieu (Bereiter, 2002 p. 88)) est présente et confirme donc l'élément ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables.

Lors d'une discussion avec une classe (4 OS mars 2010), les élèves ont déclaré majoritairement que le principal facteur de motivation est les notes. La littérature sur la motivation qui suggère que les notes diminuent la motivation intrinsèque (Bandura & Schunk, 1981; Viau, 1997; Weiner, 1979; White, 1959) nous avait fait supposer que l'évaluation *certificative* devrait être réservée aux examens de fin de période et l'évaluation *formative* constituer les interventions durant la majorité du semestre. Nous avons discuté plus haut qu'une abondance de notes attribuées aux productions des élèves n'a pas semblé réduire leur investissement. Notre compréhension de la littérature sur la motivation n'explique pas complètement ce point qui mériterait d'être approfondi dans les développements de ce projet.

L'analyse quantitative dans la seule classe où l'anonymisation a été faite de manière à permettre les corrélations avec les résultats annuels (notes) (2009) révèle quelques corrélations significatives : négatives avec le sentiment d'avoir appris, négativement avec la perception de Wikipedia comme source d'information pour des questions difficiles (-0.507), positive avec l'espace d'écriture wiki perçu comme aide au travail de groupe (0.398), négativement l'espace d'écriture wiki perçu comme support pour l'exposé (-.536), et comme passage de témoin (-0.639), négativement avec le sentiment autonomie (-0.345) et avec sentiment que les connaissances acquises soient différentes dans ce cours.

On peut tenter d'interpréter ces résultats comme une corrélation entre performance scolaire et attribution causale : les bons élèves n'auraient pas attribué au dispositif leur succès mais à leur travail et leurs capacités. Ils estimeraient déjà savoir sélectionner les sources et auraient vu le wiki comme une aide au travail de groupe par la visibilisation du travail des autres. Si ces résultats posent de nombreuses et belles questions à explorer, leur interprétation ne peut guère être étayée avec les données dont nous disposons, aussi nous la laissons de côté.

### 7.1.6 **Éléments de design pour la transparence, la confiance**

Un choix central discuté plus haut (ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis) est qu'un centrage sur les *contenus biologiques* (termes, mécanismes, démarches) doit rester très explicitement au centre du dispositif, que les consensus négociés soient manifestés et accessibles à tous (ED11 : Un espace

d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur). Pourtant la confiance dans le dispositif est liée aux résultats manifestés et ressentis par les élèves ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves. Il faut donc visibiliser les stratégies d'apprentissage et les discuter, c'est-à-dire travailler la métacognition. La littérature – par exemple (Sandoval, 2003a) – nous a conduit à faire la conjecture qu'un travail explicite des croyances des apprenants sur l'apprentissage et la connaissance, sur la base des productions des apprenants peut conduire à un approfondissement conceptuel et épistémologique. En conséquence, nous avons prévu dans le dispositif des activités ou moments pour que l'élève prenne conscience de ce qu'il a appris et des changements de ses conceptions sur le contenu et sur les méthodes d'apprentissage. C'est le but initial des questionnaires qui sont devenus les questionnaires de fin d'année. Certaines questions sont effectivement plus pertinentes pour susciter une réflexion métacognitive sur la régulation des stratégies que pour produire des résultats de recherche, nous l'avons mentionné dans les méthodologies. Cependant pour maximiser la confiance que les élèves accordent au dispositif, il faut lui laisser faire ses preuves avant d'aborder les questions métacognitives et discuter les stratégies d'apprentissages (ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages). Une fois qu'ils ont pu constater qu'ils ont appris de la biologie sérieuse (par exemple quand leurs camarades d'autres classes veulent voir leur brochure pour préparer leurs examens), ils sont réceptifs pour discuter des stratégies qu'ils ont pratiquées. C'est donc dans la seconde moitié de l'année que des activités et discussions sur les processus d'apprentissage, et d'autres aspects métacognitifs sont plus fréquents. Par exemple, une observatrice (Eléonore) note en janvier les effets de telles discussions sur les relations enseignant - classe :

> D'abord un discours de l'enseignant sur l'importance des questions. Réflexivité = Amener les élèves à prendre conscience de leur démarche, de leur besoin de questions pour avancer, pour s'organiser en groupe et pour structurer les textes produits.
>
> Flo montre les réactions d'élèves ayant suivi le même style de méthode d'apprentissage. Les élèves sont "réveillés" = je ne sais pas trop ce qu'il se passe dans leur tête...quelque chose de réflexif...
>
> Rappel du "contrat" qui se met en place : Responsabilité de qualité envers les autres. Aussi bien pour les textes produits dans le wiki que pour les exposés.
>
> […]
>
> Présentation de l'enseignant : chronologie de l'évolution. Utilisation d'une ficelle qui traverse toute la salle de bio et qui correspond à toute l'évolution. Les élèves retrouvent leurs gestes professionnels d'élève = prise de notes, dynamique, stabilo, entraide "qu'est-ce qu'il a dit le prof ?", "monsieur vous pouvez répéter"...
>
> On finit le cours sur une note extrêmement optimiste : une gaité dans l'air :)...Flo leur dit qu'il est content de faire cette expérience avec eux et le retour est chaleureux. "Nous aussi". Les élèves sont relativement enthousiastes. Chacun a pu visualiser la période de l'évolution dont il va s'occuper. J'ai l'impression d'un déclic = ils ont compris qu'ils vont travailler de cette façon jusqu'à la fin de l'année et enfin ils l'intègrent/ ils en prennent leur parti / ils entrent en dévolution vis à vis de la méthode d'apprentissage...A suivre...Peut-être le petit discours réflexif du début de cours y est aussi pour quelque chose. Journal d'une observatrice (Eléonore), 31 janvier 2005

Nos propres observations montrent que des discussions sur les méthodes d'apprentissage sont bien reçues quand le dispositif a fait ses preuves en termes de savoirs manifestés dans la brochure, de connaissances attestées par des résultats aux examens, et que des commentaires

d'anciens élèves devenus étudiants ont pu être lus ou que ces ex-élèves ont pu venir témoigner en classe.

L'importance de moments de métacognition pour institutionnaliser ces compétences d'intelligence informationnelle a été discutée plus haut. La nécessité d'attendre que l'efficacité du dispositif en termes dapprentissage soit établie (ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages) avant d'aborder la métacognition a guidé leur temporalité. Ils ont eu lieu en fin d'investigation, lors de la reddition de fascicules (activité V). A ces moments, la comparaison des traces dans le wiki ont permis de prendre la mesure de la progression entre deux étapes du même document, ou entre des productions successives du même groupe pour mettre en évidence les compétences acquises, les savoirs construits en commun et aider à prendre conscience de l'efficacité du dispositif d'investigation. Sur la base de ces comparaisons, un travail métacognitif a pu être fait pour expliciter les choix du dispositif, justifier les stratégies et aider les élèves à prendre conscience des compétences acquises.

Dans le questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167), les élèves mentionnent qu'ils possédent des stratégies de recherche dans plusieurs questions. En particulier à la question :

> **5a)Avez-vous l'impression que votre attitude face à de gros ouvrages scientifiques a changé ? En quoi ?**

Une forte majorité des élèves mentionne – alors même que la question ne le demande pas explicitement – des stratégies de recherche, d'extraction d'information (2007 : 70%, 2008 : 75%, 2009 : 67%, 2010 : 70%). Exemple de réponses :

> Oui, je ne me sens plus complètement dèbordée ( voir effrayée) face à de gros ouvrages.Je me rend compte qu'on peut chercher de manière stratégique une information.
>
> Oui, avant, ne connaissant pas de méthode de recherche, les gros ouvrages étaient souvent évités. Maintenant que nous savons en extraire les informations, ils sont devenus d'importants outils.
>
> Non. J'ai quasiment toujours fait comme ça.

Nous interprétons ces résultats comme une confirmation que le dispositif développe non seulement des stratégies, mais aussi la conscience de ces stratégies. Cela suggère que leur discussion contribue à cette conscience et que la temporalité tardive est adéquate. Qu'il ait été possible de le faire plus tôt n'est pas exclu, mais les observations de l'enseignant montrent une maturation de la qualité des discussions plus grande lors de ces moments en fin d'année. Ce point reste assez ouvert à notre avis et pourrait être exploré dans le futur.

Bien que ce soit très difficile à mesurer, un climat orienté vers la production de connaissances communes (ED2) a été encouragé par des efforts de transparence dans la gestion des situations de micro-conflits relationnels qui sont résolues dans le sens de maximiser les apprentissages en biologie. Nous avons discuté comment accorder aux élèves une chance de retravailler leurs textes même après les échéances et à l'encourager avec un système de bonus ainsi que des longs moments de questions accordés aux élèves juste avant les petits examens sont explicitement présentés comme des opportunités précieuses d'apprentissages et manifestent le but de connaissances partagé. Cela est cohérent avec l'élément de design ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis.

Alors que les pratiques habituelles – d'inspiration morale – considèrent que ce serait « trop facile » de donner les questions avant les examens, ces éléments de design explicitent la priorité du dispositif sur le développement des connaissances et visent à développer un climat de confiance entre les élèves et l'enseignant. Le fait que le dispositif soit organisé en vue de maximiser les apprentissages plutôt que dans une logique morale semble avoir surpris favorablement les élèves. Cela confirme les éléments de design (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance et ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur).

La posture d'aide à la rédaction de l'enseignant semble avoir joué un rôle pour développer la confiance et un but d'amélioration des connaissances partagé. Nous avons conjecturé qu'il ne devrait pas corriger « au stylo rouge » (nous ne parlons pas de la couleur mais d'une évaluation qui relève seulement les erreurs et les manques « an error-hunting teacher »), mais pratique une évaluation formative qui souligne aussi les points positifs et surtout indique des changements permettant l'amélioration (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes). Les élèves ont développé une implication considérable et sont venus souvent demander que l'enseignant corrige leurs travaux. Ce souhait de feed-back est un indicateur que les élèves se sont sentis aidés dans des apprentissages dont ils se sentent responsables et confirme les élément de design ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance.

A propos du climat, le journal d'une des observatrices relève, lors de la première implémentation du dispositif, les limites de ce qu'on peut attendre de jeunes de cet âge et les indices encourageants de ce dispositif :

> Si j'exagère dans le sens pessimiste : Dépasser l'aspect blasé/mou des étudiants : quoi que le prof leur demande il le font avec une certaine résignation et un certain savoir-faire d'élève…Rien ne les bouscule vraiment, ne les implique vraiment…Ils recopient des phrases du livre sur le thème voulu sans totalement brancher le cerveau…l'enseignant essaye de les stimuler (ça fonctionne) : il vient répondre à leur question, en pose certaines…Il présente les connaissances sur un angle toujours intéressant/stimulant… En cours, les élèves ont du mal à faire un effort seuls, en autonomie = ils se déconcentrent, parlent d'autre chose…se perdent sans avoir vraiment fait d'effort pour ne pas se perdre…
>
> Si j'exagère dans le sens optimiste : Les élèves sont positifs. Ils acceptent les activités, ils jouent le jeu. Au fur et à mesure de l'année, je les ai vu mieux se prendre en main, se déplacer dans la classe, aller consulter Internet, aller chercher le Campbell, s'isoler du groupe pour écrire, revenir échanger ensemble - uniquement sur de la biologie -, poser des questions à l'enseignant, interagir avec lui avec intérêt. Construire effectivement leur texte. S'organiser pour l'écrire sur le wiki. Les textes ont quasiment toujours été écrits, au fur et à mesure, améliorés, structurés, avec des images (ce qui peut être un signe de leur intérêt, de l'envie de faire bien)... Bilan d'une observatrice (Eléonore), juin 2005.

Depuis 2005, le dispositif a été sensiblement amélioré au cours des implémentations, quant à la nature des feed-back, au rôle des présentations intermédiaires, et une plus grande clarté et structuration générale. On peut supposer que l'impression de l'enseignant n'est pas dénuée de

fondement : que ce climat de confiance et le but d'amélioration des connaissances a été mieux partagé.

Pris ensemble ces résultats confirment de manière assez nette qu'un but d'amélioration de connaissances partagé a été assumé par l'ensemble ou au moins la majorité des individus, et qu'un climat de confiance a permis des interactions autour des savoirs qui ont aidé le développement de connaissances. Cela contribue à confirmer les éléments de design ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves et ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur.

### 7.1.7 Comment manifester l'autorité pédagogique de l'enseignant dans le guidage sans escamoter l'autorité scientifique des ressources ?

Nous avons discuté dans le cadrage théorique que la manière dont les corrections sont réalisées serait un paramètre important pour maintenir l'investissement des élèves dans le dispositif, en tension entre conserver la dévolution des questions (notamment par le respect de la territorialité du texte), et garantir le champ et la qualité de l'investigation. Que ce soit possible est la conjecture CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions et les éléments de design correspondant sont ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes et ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité. Cette tension cristallise les difficultés de l'enjeu pour l'enseignant de garantir l'adéquation au paradigme scientifique en assumant un rôle d'autorité pédagogique qui ne valide pas mais étaye l'apprentissage, en suscitant le conflit socio-cognitif.

Nous avons appelé respect de la territorialité du texte (ED22) le fait d'aborder l'intervention dans le texte d'autrui en respectant les mêmes règles sociales que lorsqu'on se trouve physiquement chez autrui, de transposer les règles de bienséance des espaces réels aux lieux virtuels. Par exemple, on ne modifie généralement pas l'aménagement chez d'autres gens sans leur demander. Dans un espace appartenant à autrui, il est préférable de suggérer un changement que de le faire et de signer ses interventions, puisque le marquage clair des interventions devrait limiter l'agressivité en reconnaissant à l'auteur principal la paternité du texte.

Dans un espace partagé, si on doit intervenir on avertit les autres *possesseurs* de cet espace comment et pourquoi on a modifié les lieux, cela limite l'agressivité en reconnaissant leur possession des lieux. Dans un espace d'écriture partagé ED22 implique que l'enseignant s'abstienne de modifications directes des textes d'autrui, mais qu'un texte juxtaposé signale plutôt les changements à effectuer. Cela justifie encore plus l'élément de design ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, en indiquant des sources différentes et qu'il invite à envisager d'autres explications.

Si l'enseignant est intervenu pour stimuler la réflexion, les élèves l'ont fait très peu et cela reste un challenge de conduire les élèves à oser modifier le texte des autres. Il semble qu'il leur est encore difficile d'affronter les conflits socio-cognitifs.

Nous avons discuté la nature des interventions (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes) découlant du rôle d'évaluateur endossant l'autorité pédagogique et non scientifique (ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant)) : qu'il s'agissait de i) repérer les éventuelles erreurs /incohérences/ imprécisions dans les productions des élèves, ii) repérer les contradictions

entre les productions des différents groupes d'investigation, iii) poser des questions pour aller plus loin; iv) fournissant des avis complémentaires / contradictoires sous forme de ressources v) relever ou mettre en débat les contradictions entre les groupes d'investigation.

Nous nous sommes inspirés de (Sternberg, et al., 2006) pour formuler les réponses que l'enseignant peut donner à un texte considéré comme inadéquat : encourager l'élève à consulter des sources autorisées, à envisager plusieurs explications possibles, et indiquer des moyens d'évaluer ces sources et explications.

Les interventions de l'enseignant ne sont des *corrections* à proprement parler que dans des cas mineurs (portant sur la langue), alors que sur le contenu, elles prennent la forme de confrontation ou de renvoi vers une référence externe. Les objectifs de communication scientifique concernent plutôt la structure, la logique, la clarté des termes, que la langue technique ; l'effort total qu'on peut obtenir des élèves étant limité, il faut mettre en priorité les objectifs visés.

Exemple de correction directe de l'enseignant portant sur la langue (cf. méthodologie section 5.5.6 (p. 166)):

> les neurones motuers autonomes[25]

Ainsi pour des coquilles, des erreurs orthographiques ou syntaxiques, l'enseignant corrige directement :

> les neurones moteurs autonomes[26]

Par contre pour les erreurs par rapport au consensus scientifique, les imprécisions logiques qui correspondent aux compétences travaillées dans l'investigation, les interventions de l'enseignant ne corrigent pas mais visent à susciter le conflit socio-cognitif. Exemple d'intervention de l'enseignant dans le texte par confrontation d'idée :

> Tout le monde a accès au génome humain. Il suffit d'aller surwww.ncbi.nlm.nih.gov/SCIENCE96/
>
> Néanmoins...il faut nuancer: Un assureur n'a pas le droit de venir se renseigner : est-ce que mon client a le cancer ou pas?!!! *Surtout il ne peut pas y trouver la réponse, puisque c'est le génome d'un humain composite et pas le mien... F.Lo*[27]

Exemple d'intervention de l'enseignant sous forme d'incitation à l'approfondissement :

> Comment le CMH varie-t-il ?
>
> Il faut aussi tenir en compte que le CMH varie selon les individus, il existe des nombreuses variantes génétiques des molécules de CMH. Cette différence est à l'origine d'un polymorphisme qui représente la cause majeure du rejet des greffes chez les patients.
>
> *il faut ici déterminer comment le CMH peut être aussi variable selon les gens et tout a fait identique pour toutes nos cellules.*[28]

---

[25] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/CholinErgiques?version=3
[26] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/CholinErgiques?version=29
[27] *http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/GenomeHumain*
[28] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09

Exemple d'intervention de l'enseignant sous forme de refocalisation sur la question :

> Et, par la sélection clonale, si un lymphocyte réagit face à un antigène le système immunitaire "sait" qu'il doit défendre l'organisme. *ça je ne comprends pas Il s'agissait ici de décrire comment les interactions entre TCR et MHC avec CD4 permettent de "vérifier " que le CMH est bien celui de l'organisme du "soi"*[29]

Sur la manière dont les interventions dans les présentations intermédiaires sont réalisées, nous disposons du journal des observations de l'enseignant. En date du 16 septembre 2009, donc assez tôt dans la construction du contrat didactique, lors d'une activité IV de présentation finale avec notes, il y décrit son intention comme « des Q° et commentaires focalisés sur l'amélioration possible de la page. Ens. écoute corrige verbalement seulement les grosses erreurs, puis commente, signale les points à approfondir après-coup ». Mais il relève avoir « de la peine à ne pas intervenir lorsque l'explication ne lui paraît pas claire ». Ce même journal indique, suite à une activité IV de présentation intermédiaire le 3 novembre, que l'enseignant a l'intention de n'interrompre que pour donner des précisions, corriger l'orthographe ou signaler un manque de clarté, un besoin d'approfondissement etc., mais qu'en fait il lui est difficile de s'abstenir de compléter, préciser les contenus. Il évoque le danger de désinvestissement si les commentaires font trop d'ombre aux présentations (Journal d'observation de l'enseignant, 17 novembre 2009).

Ces remarques manifestent bien la tension identifiée par (Sandoval & Daniszewski, 2004) entre valoriser les idées des élèves et la garantie qu'ils développent des connaissances acceptables dans l'institution. Les productions et présentations finales (mars) ont pu convaincre les observateurs de manière répétée, mais ces résultats montrent combien la confiance dans le dispositif est mise à l'épreuve de la durée et combien il est difficile pour un enseignant de s'abstenir de « corriger ». Une observatrice (Eléonore) confirme que le rapport à l'erreur qu'expriment les interventions de l'enseignant est crucial pour la dévolution de la validation : « On peut rapporter cela à la discussion sur le rapport à l'erreur et l'aversion profonde pour les erreurs qui est probablement très fréquente chez les enseignants, révélant une crainte behavioriste que l'erreur soit apprise. » (Journal d'observation de l'enseignant, 17 novembre 2009).

Cependant les exposés finaux expriment en général une assez bonne focalisation sur l'essentiel « Réussissent à choisir de présenter une sélection centrée sur ce qui est le plus important (indiqué par le maître) » (Journal d'observation du 17 novembre 2009). Cela peut être interprété comme une confirmation que le rôle 4a « Présentateur d'un groupe d'investigation » a contribué à focaliser les élèves sur la synthèse des concepts principaux.

Pris ensemble, ces résultats confirment l'importance et la difficulté de la séparation de l'autorité scientifique de l'autorité pédagogique (ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant)), et notamment de s'abstenir de corrections pour effectuer des feed-back visant à révéler les incohérentes pour susciter le conflit cognitif (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes). Ces résultats suggèrent que ce sont des conditions pour que la validation des savoirs soutenant la construction des connaissances soit progressivement dévolue aux élèves (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves). Les connaissances acquises par les élèves et leur autonomie (discutée plus bas) confirment que ces conditions, même imparfaitement réalisées, contribuent aux apprentissages effectués, notamment à la compétence

[29] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09

de validation autonome que nous considérons comme une composante cruciale de l'épaisseur scientifique des connaissances.

Par ailleurs, ces résultats confirment le rôle crucial de l'enseignant dans la négociation des questions qui guident l'investigation. Ils montrent qu'il est possible de négocier les questions sans compromettre la dévolution et donc de piloter l'investigation. On pourrait dire que le transfert dans la structure d'une partie de l'autorité (les questions restent sous la surveillance de l'enseignant, mais sont négociées et inscrites dans le wiki) favorise l'autonomie et détermine une posture de tuteur plutôt que de maître.

Les paramètres clé nous paraissent être :

- La négociation : les questions ne sont pas imposées, ni modifiées par l'enseignant qui suggère et argumente cependant des changement de formulation, ou de position dans le document en référence aux objectifs et à l'épistémologie de la biologie. Selon (Sternberg, et al., 2006), les réponses que l'enseignant peut donner à un texte considéré comme inadéquat peuvent être : l'encourager à consulter des sources autorisées, à envisager plusieurs explications possibles et indiquer des moyens de les évaluer.
- La justification : la référence permanente au paradigme de la biologie et aux objectifs (exprimés pour les élèves sous forme de l'évaluation dans les examens) dans la négociation des questions retenues et dans leur importance exprimée par leur place dans la structure du document.

La manière dont ce pilotage – que nous considérons comme suffisamment établi – permet de garantir la couverture curriculaire et l'approfondissement conceptuel dans le paradigme sera discutée avec la question de recherche Q2B.

### 7.1.8 **Synthèse des résultats à la question Q2A**

Résumons maintenant les éléments de réponse à la question de recherche *Q2A : Quelles sont les variables de climat et les variables éducatives qui permettent et étayent l'investigation scientifique dans un dispositif de type IBL ? Comment interagissent-elles ?*

La conjecture qu'un climat de *knowledge improvement* serait crucial, incarnée dans l'élément de design ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté nous paraît confirmée par les traces d'implication dans la production, leur prise de responsabilité dans la validation, et les indices qu'ils ont accepté de réaliser des tâches coopératives. Malgré une réticence manifeste et attendue, nous trouvons des traces de confrontation d'idées, d'ébauches de débat dans les écrits et les présentations qui suggèrent une certaine épaisseur métacognitive des connaissances. Ils sont des indices de la confiance dans le dispositif et du sentiment de sécurité nécessaire aux confrontations socio-cognitives.

Concernant les traces que la structure d'apprentissage coopératif a permis la régulation des conflits socio-cognitifs dans le plan *épistémique* (Buchs, Butera, Mugny, & Darnon, 2004), nous avons trouvé des traces d'interdépendance positive (IP) et de responsabilité individuelle (RI) qui confirment qu'un dispositif qui repose sur ces variables est possible et suggère qu'elles contribuent au développement de connaissances argumentées. La régulation de la responsabilité individuelle par l'enseignant assumant son autorité éducative tout en respectant la dévolution des questions semble être un élément clé pour obtenir l'investissement dans la communauté d'apprenants et l'apprentissage coopératif. Il doit en particulier surveiller les perceptions d'élèves sur l'investissement des autres et intervenir pour éviter de retomber dans un travail individuel par surinvestissement (*lone star*) et désinvestissement (*free rider*).

Nous avons trouvé des traces qu'un climat de confiance s'est manifesté dans l'engagement des élèves avant d'avoir des certitudes sur les retours des autres individus, et les indices que les

activités ont réellement préparé les évaluations et que les élèves se sont investis sur la foi de cette cohérence, confirmant un peu (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves). La confiance manifestée de la part de l'enseignant que les élèves peuvent produire des connaissances valables et pas seulement les reproduire (ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables) s'est manifestée dans le renoncement – par moments incomplet mais globalement réel – à corriger et à donner les savoirs. Les indices les plus forts sont dans la dévolution des questions (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves) et surtout des réponses puisque la quasi totalité des savoirs dont leurs connaissances sont issues ne proviennent pas de l'enseignant. Enfin la manière dont le feed-back s'exprime dans l'incitation à progresser et la signalisation des incohérences plutôt que la correction directe (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité) est confirmée, mais l'effet Topaze (Brousseau, 2003) suggère que les élèves pourraient avoir détecté des indices de validation dans les attitudes et les silences de l'enseignant. Nous considérons avec suspicion le dispositif sur ce point mais considérons néanmoins que les (ED21 et ED22) fondent des recommandations importantes pour obtenir et maintenir la responsabilité des élèves dans l'investigation et sur leurs apprentissages. Il nous semble qu'ils ont une portée plus générale que ce dispositif.

Concernant les moments de métacognition, nous avons vu dans le cadrage leur importance mais nous avons fait la conjecture qu'il faut bien choisir le moment de les introduire : ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages. Les traces dans le wiki se sont avérées une bonne manière de faire ce travail métacognitif en matérialisant la progression entre deux étapes du même document ou entre documents successifs pour mettre en évidence les compétences acquises, les savoirs construits en commun et aider à prendre conscience de l'efficacité des dispositifs d'investigation pour développer leurs connaissances individuelles.

Ainsi nous estimons que les conjectures ne sont que partiellement confirmées : but d'amélioration des connaissances partagé, structure coopérative (IP +RI) ne sont que partiellement constatés. Pourtant nos résultats suggèrent que ces conjectures incarnées en ED – même partiellement réalisées – ont contribué à permettre une validation largement autonome et une responsabilité assumée par les élèves de leurs connaissances face aux pairs. Ce sont des indicateurs d'épaisseur scientifique notable qui suggèrent une certaine robustesse des recommandations de design prises ensemble.

## 7.2 Résultats : Q2B Comment assurer le contrôle de l'investigation tout en respectant l'autonomie des élèves ?

Cette question comporte trois sous-questions : *Comment les questions se précisent-elles et convergent-elles vers celles compatibles avec le paradigme ? Comment articuler le guidage des questions et la dévolution des questions ? Comment les questions et les ressources guident-elles l'investigation ?*

Nous avons discuté que les questions sont au cœur de la recherche scientifique (Hakkarainen & Sintonen, 2002; Scardamalia & Bereiter, 2006) et qu'elles orientent l'investigation, fondant ainsi la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. Nous avons vu qu'une question doit être construite dans un cadre conceptuel qui lui donne du sens et lui permet de jouer un rôle de guidage de l'investigation. Une difficulté est que l'investigation nécessite que l'élève « ait » les bonnes questions et que ces dernières apparaissent rarement spontanément. Nous avons discuté qu'il faut prévoir, dans le dispositif, un processus organisé par lequel les

élèves construisent leurs questions en même temps que leurs connaissances s'approfondissent. Nous avons discuté le rôle crucial dans ce processus de problématisation des ressources authentiques qui fonde la conjecture CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources.

Ce guidage nécessaire de l'investigation est cependant en tension avec la responsabilité laissée aux élèves de leurs questions qui fonde l'investigation et s'exprime notamment dans l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs. Si les questions sont dévolues aux élèves, on ne peut pas les prescrire, mais si l'enseignant ne détermine pas le choix des questions, l'investigation risque de passer à côté des concepts complexes qui sont au cœur de la biologie : les mécanismes sous-jacents qui sont les « bonnes » questions dans le paradigme actuel. Ces questions sont implicites dans les réponses que les ressources authentiques fournissent (CJ1), mais les questions triviales – celles que les néophytes posent au début d'une investigation – ne conduisent pas automatiquement vers de telles ressources, elles risquent plutôt de conduire vers des ressources aisément disponibles qui suscitent des questions descriptives ou hors du champ de la biologie. L'investigation ne produit pas automatiquement des connaissances approfondies et pertinentes, et l'approfondissement conceptuel suggéré par (Hintikka, 1999) qui fonde notre conjecture (CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme) a peu de chance de se réaliser spontanément.

L'enjeu est de déterminer une forme de guidage efficace qui laisse la responsabilité des questions à l'élève. Puisque les questions traitées se construisent en interaction avec les ressources qui auraient une sorte de structure centripète et conduisent ainsi vers le paradigme correspondant, nous avions formulé la conjecture qu'une négociation des questions, des ressources authentiques proposées au bon moment et rendues aisément accessibles permettraient le guidage de l'investigation tout en respectant la dévolution. Il en résulte l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs. Voici donc notre troisième conjecture (CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions) que nous nous proposons de vérifier ici.

Pour analyser l'adéquation au paradigme et en particulier la question centrale dans le paradigme actuel de la biologe (les explications des mécanismes sous-jacents), nous avons cherché des indicateurs de la focalisation des questions sur ces mécanismes et des variables intermédiaires pour mesurer si les réponses abordent la complexité de ces mécanismes (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)).

Pour étudier ce guidage paradoxal, nous disposons, avec les enregistrements dans le wiki permettant de suivre dans le temps l'évolution des textes, des questions (en nombre et leur filiation) et de la complexité épistémique des réponses. Nous avons étudié aussi les liens entre la succession des activités et les variations de ces variables reflétant les connaissances des élèves dans leurs productions.

Afin de voir si les activités du dispositif conduisent bien à des effets sur les productions des élèves et *in fine* sur le développement des connaissances, nous avons cherché à établir les liens entre les activités, l'action de l'enseignant et les indicateurs que l'on peut extraire des productions wiki au cours du temps : nous avons établi le nombre de mots (reflétant l'investissement), le nombre de questions (reflétant l'étendue de l'investigation), la complexité épistémique (reflétant l'adéquation au paradigme des connaissances) des réponses au cours des versions pour un échantillonnage de productions.

Nous avons cherché les indicateurs d'un affinage conceptuel " *Advancement of inquiry can be captured by examining a chain of questions generated*."(Hakkarainen & Sintonen, 2002 p. 28) :

nous avons cherché à établir la filiation conceptuelle des questions co-écrites (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)) et les moments de leur développement ou de leur modification pour les mettre en rapport avec le développement de la complexité épistémique mesurée (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)).

Nous avons cherché les liens entre ces variables et les actions de l'enseignant, notamment les transitions d'activités. Nous avons aussi cherché des liens avec les variables de climat. Pour un même thème lors de quatre années représentatives, nous avons mesuré le nombre de mots dans chacune des versions co-écrites dans le wiki d'un même groupe d'investigation et les avons présentés en fonction du numéro de version (cf. méthodologie section 5.5.5, (p. 166)). Nous avons ensuite procédé de même pour le nombre de questions. (cf. méthodologie section 5.5.5, (p. 166)). Nous avons également mesuré la complexité épistémique à trois moments cruciaux du déroulement de l'investigation et les présentons au cours du temps (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)).

Nous avons cherché des phases différentes dans le développement de ces variables, telles que des vitesses d'accroissement qui varieraient, des stabilisations, des moments de changement qualitatif, et avons tenté de les mettre en rapport avec les activités du dispositif pour établir si l'ensemble pouvait dessiner des phases mesurables avec les indicateurs disponibles pour le développement de connaissances scientifiques chez les élèves.

### 7.2.1 **Développement de l'ampleur des textes et implication des élèves**

Si l'investigation est guidée par les questions, les textes produits en réponse sont liés de manière complexe, aux apprentissages et l'ampleur des textes produits est un indicateur grossier de l'investissement dans le dispositif. Une analyse plus fine permettra ensuite de qualifier cette production mais le dispositif est conçu afin d'encourager un travail itératif d'écriture abondante qui est une condition (nécessaire mais non suffisante) pour que des connaissances scientifiques soient produites.

Nous avions formulé la conjecture que de nombreuses itérations d'écriture et de confrontations étaient nécessaires pour étayer le développement conceptuel et qu'un but partagé d'amélioration des connaissances, un climat coopératif pourraient développer l'implication des élèves qui rend possible ce travail considérable. Les variables de climat ont été discutées dans la question 2B. Nous présentons d'abord les résultats concernant l'ampleur des productions des élèves, mesurée en nombre de mots, puis nous étudierons l'évolution du nombre de questions et leur développement.

Nous avons d'abord procédé à une analyse stratigraphique de l'évolution du nombre de mots d'un des quatre documents wiki co-écrits par 3-4 élèves au long d'une investigation (cf. Figure 28). Dans chaque implémentation annuelle, le document sur le même sous-thème a été analysé à la même période de l'année. Le déroulement a été indiqué en fonction du numéro de version plutôt que de la date pour faciliter les comparaisons malgré les contingences du calendrier scolaire (ce choix est discuté dans les méthodologies section 5.5.3 (p.164)).

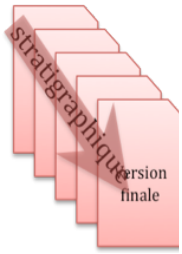



Figure 28 : Dans la temporalité stratigraphique, l'analyse porte sur les versions successives d'un même document wiki produit par un groupe d'élèves au cours d'une investigation d'environ trois semaines.

L'analyse du nombre de mots (en fonction des numéros de versions, Cf. méthodologie section 5.5.5, (p. 166)) composant les documents wiki est représentée pour les quatre années de notre échantillon à la Figure 29.

Pour les années étudiées, l'ampleur du texte dans chaque document d'un groupe de 3-4 élèves a atteint en moyenne 3171 mots (2572 à 3661 mots selon les années pour ce sous-thème de l'immunité humorale).

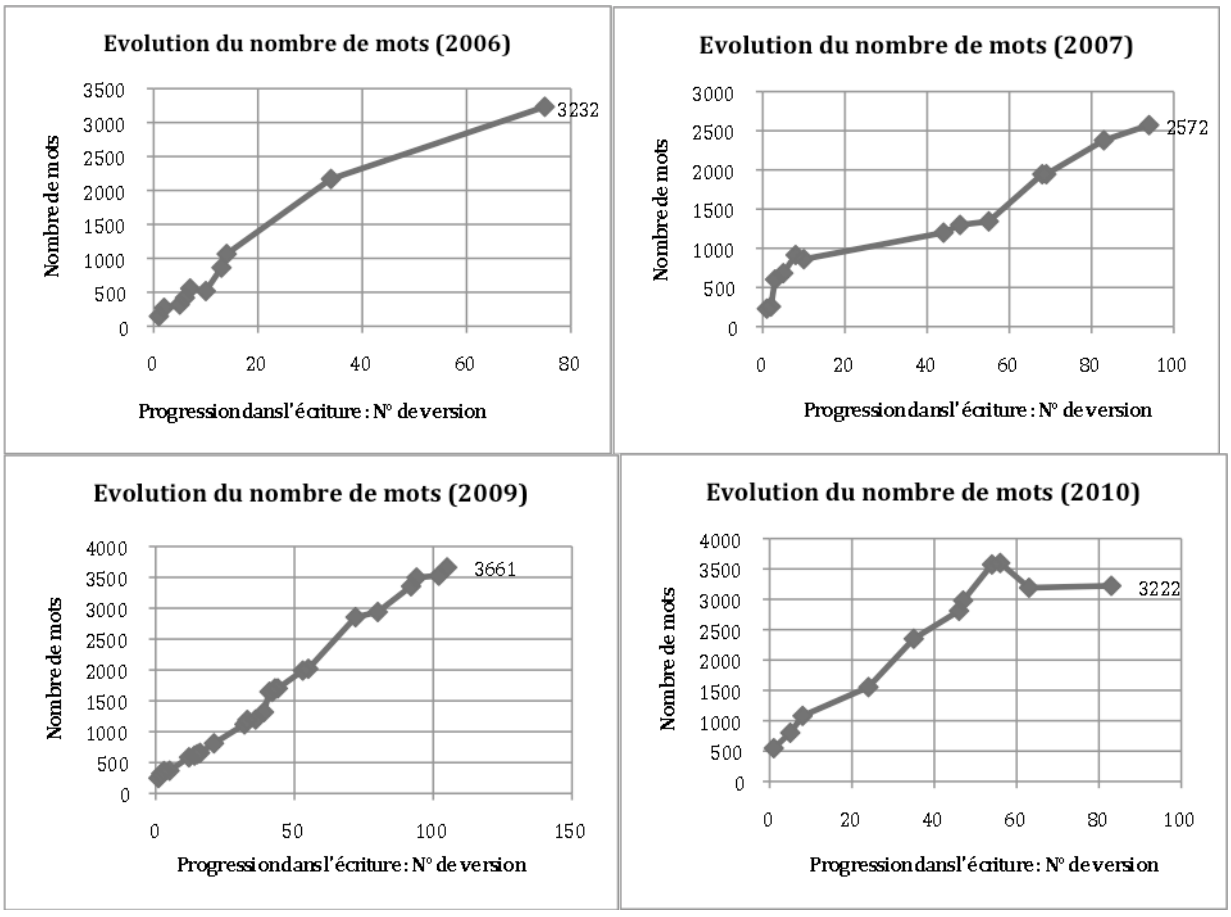



Figure 29 : Ampleur du texte en fonction des versions d'un même texte pour différentes années. Le nombre de mots au cours d'une investigation augmente assez régulièrement au cours des révisions. L'année 2010 se distingue avec un amortissement vers la fin de l'investigation.

L'ampleur des textes finaux de l'échantillon *Immunité humorale* choisi est représentative de l'ensemble des textes (cf. Tableau 6) : la moyenne s'établit à 3384 mots par document produit par groupe de 3-4 élèves.

| Année | Immunité humorale | Immunité cellulaire | Vaccin autres défenses | Allergie et auto-immunité |
|---|---|---|---|---|
| 2006 | 3968 | 1604 | 2865 | 2990 |
| 2007 | 3124 | 2963 | 5737 | 4980 |
| 2009 | 3779 | 4975 | 3443 | 1972 |
| 2010 | 3223 | 3207 | 3224 | 3499 |
| **Moyenne** | *3171.8* | *3187.25* | *3817.25* | *3360.25* |
| **Ecart-type** | *389.0* | *1199.* | *1127.* | *1084.* |

Tableau 6 : Ampleur du texte de tous les documents wiki produits en fin d'année de 2006 à 2010 la moyenne toutes années confondues s'établit à 3384.

En soi, c'est un résultat intéressant mettant en évidence l'implication des élèves : 3384 mots écrits en trois semaines par 3-4 élèves représentent 282 à 376 mots *ajoutés* par élève et par semaine. C'est une estimation basse puisqu'elle ne prend pas en compte la réécriture et les modifications de mots. Cela manifeste un investissement considérable en heures de travail des élèves – et de l'enseignant – qui se produisent pour la plupart hors périodes scolaires, les heures des enregistrements dans le wiki en attestant. Si l'on considère que le comptage des mots mesure l'ampleur de l'effort produit par les élèves, ces graphiques manifestent que chacune des sept années étudiées, le dispositif a réussi à impliquer les élèves de manière soutenue sur la durée et confirment ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances.

Le nombre de mots augmente de manière assez régulière mais marque, selon les années, un ralentissement sur la fin. On peut interpréter cela comme une réorientation de l'activité des élèves vers la concision des textes et l'approfondissement plutôt que la quantité. On peut y voir aussi un indice confirmant l'existence de phases distinctes dans le fonctionnement du dispositif.

Cette ampleur de travail rend sans doute possible les autres dimensions du projet mais ne suffit naturellement pas à garantir des apprentissages. C'est plutôt la nature du travail cognitif dans ces tâches, découlant des rôles effectivement joués, qui détermine les apprentissages. Etudions les traces de ces activités cognitives.

### 7.2.2 **Développement du nombre de questions**

Une écriture abondante sans critères de qualité ne révèlerait pas grand chose sur la production de savoirs scientifiques par les élèves. Nous avons étudié l'évolution des questions (cf. méthodologie section 5.5.5 (p. 166) et pour la temporalité des analyses cf. méthodologies section 5.5.3 (p.164)) en fonction du numéro des versions comme indicateur de l'affinage conceptuel. Cela visait à vérifier si les questions évoluent depuis des questions vagues vers des questions précises comme le suggérait (Hakkarainen & Sintonen, 2002) pour vérifier notre conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme.

La comparaison des courbes d'évolution du nombre de questions au cours d'une investigation équivalente lors de plusieurs années suggère un *pattern* (motif) en trois phases : une augmentation rapide dans les premières versions, des fluctuations vers les deux tiers du temps de l'investigation et une stabilisation pour les dernières versions co-écrites. Les moments de ces changements de phase semblent correspondre à des moments pédagogiques comme les présentations intermédiaires (activité IV), les examens (activité III), les feed-back de l'enseignant qui précèdent ou suivent ces moments. Nous reprendrons plus bas la discussion de ces moments significatifs du déroulement de l'investigation.

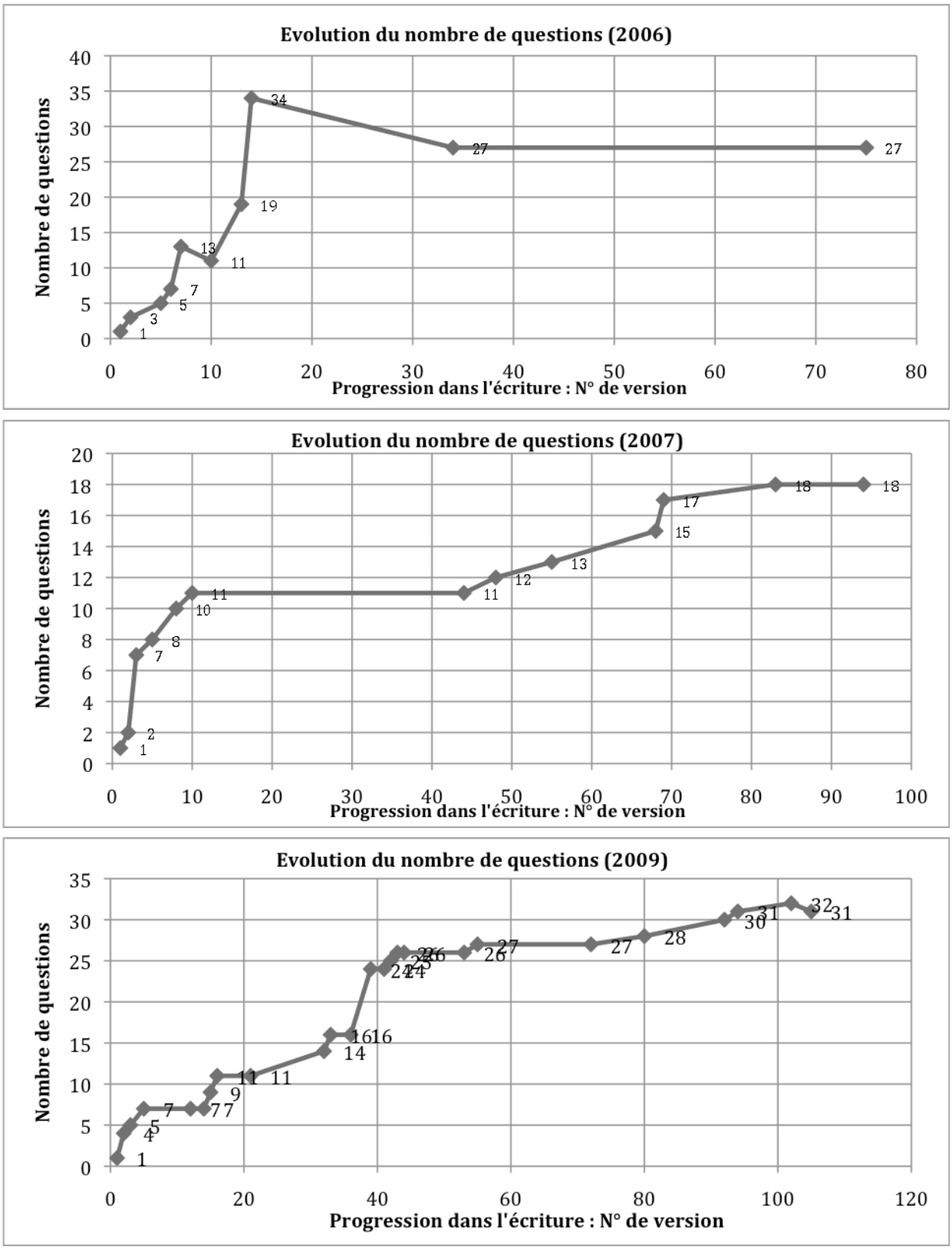



Figure 30 : Analyse stratigraphique du nombre de questions en fonction des versions du document. Au cours d'une investigation, il augmente d'abord rapidement puis se stabilise et subit quelques ajustements plus tardifs.

On peut interpréter l'augmentation initiale du nombre de questions ainsi que les observations de l'enseignant sur ces moments comme une phase d'exploration par les élèves qui rencontrent

d'abord de nombreux termes à définir parce qu'ils sont confrontés à des notions nouvelles (Activité I et II Cf. Tableau 4). Au fur et à mesure qu'ils entrent dans l'approfondissement pour chaque question, l'élaboration des réponses développe surtout l'ampleur des textes sans apporter beaucoup de nouvelles questions (Activité II Cf. Tableau 4). Lors des confrontations dans les présentations et les feed-back de l'enseignant, les questions sont redéfinies mais varient alors en qualité plus qu'en quantité (Activité III et IV Cf. Tableau 4).

L'analyse d'un exemple (cf. Tableau 7 et Figure 31) de suivi des reformulations de questions (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)) montre d'abord qu'il y a relativement peu de changements (12 sur 31 questions), ce que l'on peut interpréter comme lié au coût cognitif du changement voire à une réticence des élèves à changer leurs questions : la théorie de l'engagement (Joule, 2002) et les travaux sur le conflit socio-cognitif (Buchs, et al., 2008; Doise & Mugny, 1981; Perret-Clermont, et al., 1996) pourraient expliquer cela en termes de résistance au changement. Dans les deux cas, la résistance au changement est confirmée et renvoie à la nécessité des interventions d'une autorité pédagogique pour inciter les élèves à effectuer ces changements.

Par ailleurs, ces résultats montrent que les changements sont plus fréquents vers le milieu de l'investigation, durant les activités III et IV (selon Tableau 4) de l'investigation. Cela confirme l'existence d'une phase distincte observée dans les effets éducatifs et constitue un indice que cette phase de plateau correspond à un affinage conceptuel : avec l'approfondissement de la compréhension des élèves, au fur et à mesure que les concepts s'éclaircissent, les questions sont reformulées pour correspondre à la conceptualisation.

| Date : heure | N° de version dans le wiki | Nombre de questions totales | ∂ = Nombre de questions reformulées |
|---|---|---|---|
| 19, janvier : 15h12 | 5 | 7 | |
| 21, janvier : 16h38 | 12 | 7 | 1 |
| 21, janvier : 16h52 | 14 | 7 | |
| 22, janvier : 10h10 | 15 | 9 | |
| 22, janvier : 10h15 | 16 | 11 | |
| 22, janvier : 16h44 | 21 | 11 | |
| 23, janvier : 15h12 | 32 | 14 | |
| 23, janvier : 15h30 | 33 | 16 | 1 |
| 25, janvier : 13h05 | 36 | 16 | 1 |
| 26, janvier : 22h16 | 39 | 24 | 1 |
| 28, janvier : 11h59 | 41 | 24 | 1 |
| 28, janvier : 13h10 | 42 | 25 | 1 |
| 28, janvier : 14h00 | 43 | 26 | 3 |
| 28, janvier : 14h07 | 44 | 26 | |
| 2, février : 11h32 | 53 | 26 | 1 |
| 2, février : 11h56 | 55 | 27 | 1 |
| 18, février : 20h25 | 72 | 27 | 1 |
| 23, février : 15h04 | 80 | 28 | |
| 2, mars : 11h19 | 92 | 30 | |
| 2, mars : 11h45 | 94 | 31 | |
| 5, mars: 12h21 | 102 | 32 | |
| 5, mars : 12h52 | 105 | 31 | |

Tableau 7 : Suivi des reformulations de questions. Pour chaque date et numéro de version, le nombre de questions et de questions reformulées sont indiqués (∂ = nombre de questions dont la formulation a changé depuis la version précédente indiquée). Seule les versions de révisions majeures sont indiquées. Année 2009, document wiki, Immunité humorale, (4 élèves)

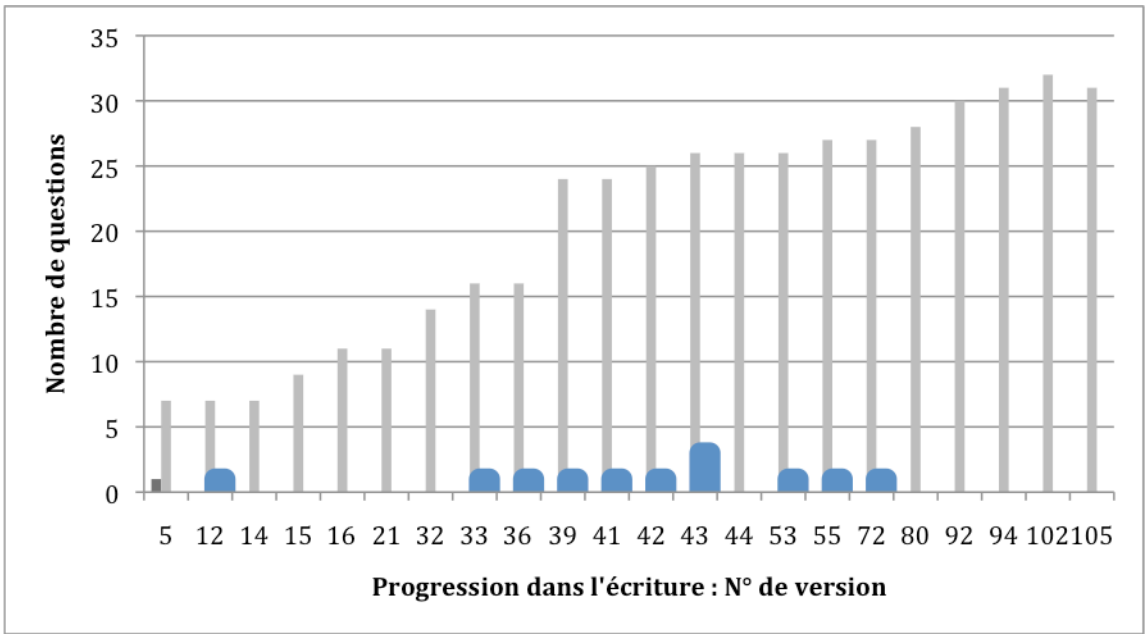



Figure 31 : Suivi des reformulations des questions. Nombre de questions totales (trait fin) et nombre de modifications (trait gras) en fonction du numéro de version pour une production d'un groupe typique (Immunité humorale, 4 élèves ; 21 janvier au 5 mars, année 2009).

Pris ensemble, ces résultats suggèrent l'existence de moments distincts dans l'écriture avec une première phase d'exploration marquée par un nombre de questions qui augmente et dont la transition peut être mise en rapport avec l'activité III (échéance, évaluation) et IV (présentation intermédiaire). On observe ensuite une phase de redéfinition des questions durant le milieu de l'investigation. On peut associer à l'activité IV (présentation intermédiaire) puis V (institutionnalisation) le léger accroissement du nombre de questions vers la fin. Cela suggère que les activités et les interventions de l'enseignant pilotent effectivement les productions et les mesures (notamment la complexité épistémique) de la construction de connaissances chez les élèves. L'investigation n'est pas un bateau sans capitaine, confirmant la conjecture CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions.

C'est aussi un indice confirmant les éléments de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs, ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant).

Cependant, ces résultats numériques suggèrent bien que les questions s'affinent dans la phase en plateau, mais ne permettent pas de l'établir. Nous avons donc procédé à une analyse de la filiation des questions (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)).

### 7.2.3 Elaboration des questions et des réponses

Pour étudier le développement de questions par les élèves, nous allons étudier un exemple sélectionné dans le wiki lors de l'investigation du chapitre Immunologie (sous-thème *Immunité humorale*) pour l'année 2006. Cette investigation se place en fin d'année quand les élèves ont bien intégré le contrat didactique de l'IBL.

Nous avons analysé les questions qui sont apparues dans le wiki et tenté de déterminer leur filiation (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)).

Nous avons extrait du rapport de l'expert une estimation de l'adéquation de ces questions aux programmes et plans d'études en vigueur (cf. méthodologie section 5.4.2, (p. 157)).

Nous avons mesuré la complexité épistémique d'un échantillon arbitraire de documents wiki au début et à la fin de l'année (2008 et 2009 parmi les quatre possibles) pour observer l'évolution *yearlong* annuelle et pour deux autres (2006 et 2007 parmi les 4 possibles) à 3 stades de leur élaboration afin d'étudier l'évolution au cours de l'investigation (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)).

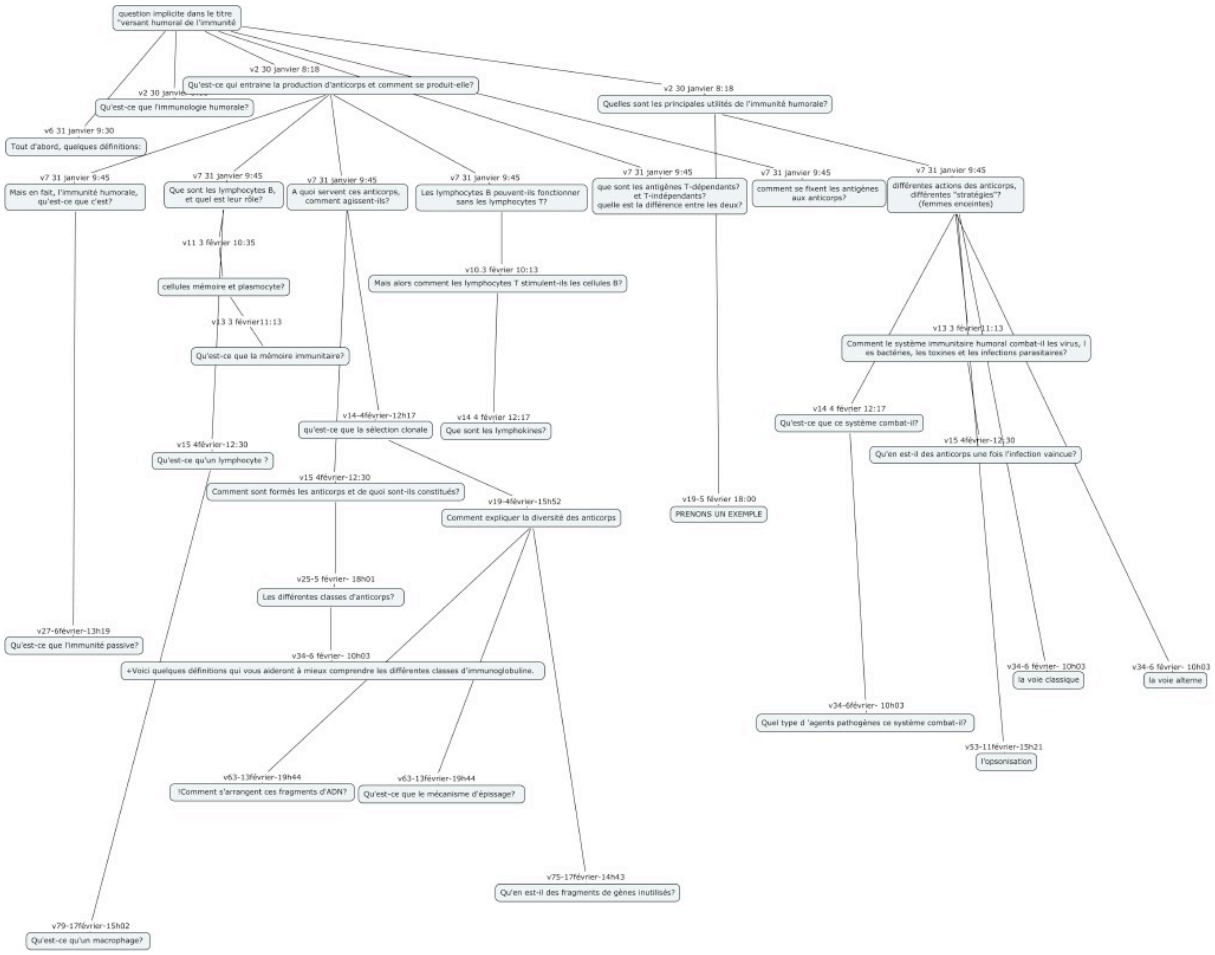



Figure 32 : Vue d'ensemble du suivi des questions : l'apparition des questions est indiquée avec le n° de version, la date et l'heure. La filiation supposée des questions est indiquée (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)).
Notez bien que ce graphique illustre en descendant la succession des questions apparues mais ne reflète pas l'écoulement du temps ou les numéros de versions : lorsqu'aucune nouvelle version n'apparaît durant longtemps, le graphique n'indique pas cette durée. Cette figure est reproduite en section 10.11 Annexe : Report des figures en pleine page (p. 390)

La Figure 32 montre comment, à partir d'une question initiale, de nouvelles questions apparaissent et divergent, et comment certaines sont parfois reformulées au cours de l'investigation. Le fait que l'investigation conduise depuis une question de départ vers de nombreuses questions plus précises y est manifeste.

L'analyse temporelle (stratigraphique) montre que dans ce cas, un grand nombre de questions apparaît entre les versions 7 et 14, puis à nouveau vers 25-35 et deux vers la fin. Cela confirme que l'exploration dans la première phase fait apparaître un grand nombre de questions et que leur nombre se stabilise mais que plusieurs sont modifiées dans la phase en plateau et que le nombre de questions n'augmente à nouveau que vers la fin. Nous explorerons plus bas comment ces questions évoluent dans le plan conceptuel, mais nous interprétons ces résultats comme des

indices dans le sens de la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. Une condition claire est cependant l'élément de design ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances.

L'analyse des interactions dans le texte apporte à nos questions de recherche sur les conditions de cet approfondissement conceptuel un élément de réponse en confirmant que le mode de feed-back renvoyant à l'autorité de ressources et par juxtaposition de commentaires peut maintenir l'investissement des élèves ou en tous cas qu'il ne l'a pas réduit. En effet, la comparaison (pluriannuelle) montre que dans chaque implémentation étudiée du dispositif), l'ampleur de l'investissement des élèves augmente au cours de l'année.

Les éléments de design ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité et ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes sont plutôt confirmés.

On peut aussi analyser par ce raisonnement que les feed-back qui ne donnent pas les réponses mais renvoient vers des sources authentiques n'ont pas démotivé les élèves. Cela confirme l'élément de design ED14 : séparation de l'autorité scientifique de l'autorité pédagogique. On ne peut pas vraiment démontrer que ces manières de gérer le feed-back ont contribué aux résultats en termes d'implication et sur le plan conceptuel, mais on peut observer qu'ils n'ont pas rendu impossible un investissement inhabituel et un approfondissement conceptuel démontrable que nous allons discuter.

Pour explorer plus spécifiquement l'approfondissement conceptuel, nous avons d'abord essayé de suivre l'évolution des questions puis des réponses. On observe typiquement un affinage des questions : des questions assez générales au début (souvent vagues) se précisent et conduisent à des questions plus précises. On peut y voir l'effet de la ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes qui est bien intégré par les élèves à ce stade de l'année et dans ce groupe d'investigation.

Analysons un exemple qui se produit au début de l'investigation sur l'immunologie fin janvier : l'énoncé fourni par l'enseignant[30] pose une seule question et suggère des stratégies en situant l'autorité scientifique dans les ressources, et souligne son rôle pédagogique. (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166))

> Essayez de trouver les questions cette fois ...
>
> Commencez par celle implicite dans le titre - lisez un peu (documents faciles (LEP) , encyclopédies (Wikipedia), résumés en fin de chapitre du Campbell, votre incompréhension du début vous aide pour découvrir les nouvelles questions. Notez-les, je peux vous aider à les sérier, les trier.

A la fin de la leçon (2 périodes de 45 minutes) cette question, traitée par 4 élèves, en a engendré 3 autres et a déjà obtenu une première réponse : version 4[31].

> Qu'est-ce que l'immunologie humorale?

[30] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunoHumorale06?version=2
[31] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunoHumorale06?version=4

C'est la réaction aux antigènes étrangers qui entraine la production d'anticorps par le système immunitaire.

Qu'est-ce qui entraine la production d'anticorps et comment se produit-elle?

Le système immunitaire peut faire deux types de réaction face à la présence d'antigènes étrangers: l'immunité humorale, dont nous allons parler, et l'immunité à médiation cellulaire. La défense humorale se distingue par la production d'anticorps. L'immunité humorale entraine la production d'anticorps qui seront secrétés par les lymphocytes B. Les lymphocytes B possèdent des récepteurs spécifiques qui sont stimulés par un antigène et vont produire des anticorps.

Quelles sont les principales utilités de l'immunité humorale?

Les anticorps du système humoral défendent principalement contre les toxines, les bactéries libres et les virus présents dans les liquides biologiques.

La formulation des questions par les élèves est encore imparfaite mais démontre qu'ils distinguent déjà plusieurs concepts dont l'un est encore plutôt descriptif mais deux sont déjà centrés sur les mécanismes et des rôles : on tend vers le paradigme de la discipline. Nous interprétons cela comme des indices confirmant la conjecture CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources.

Une illustration d'un fragment d'investigation – visualisé par les questions – dans cette même investigation avec le même groupe quelques jours plus tard montre bien la subdivision en questions plus nombreuses (qu'on peut interpréter comme la distinction de concepts plus fins *concept refinement*) et la reformulation d'une autre question (qu'on peut interpréter comme la redéfinition du concept) (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)). Nous interprétons ces résultats comme des indices dans le sens de la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme

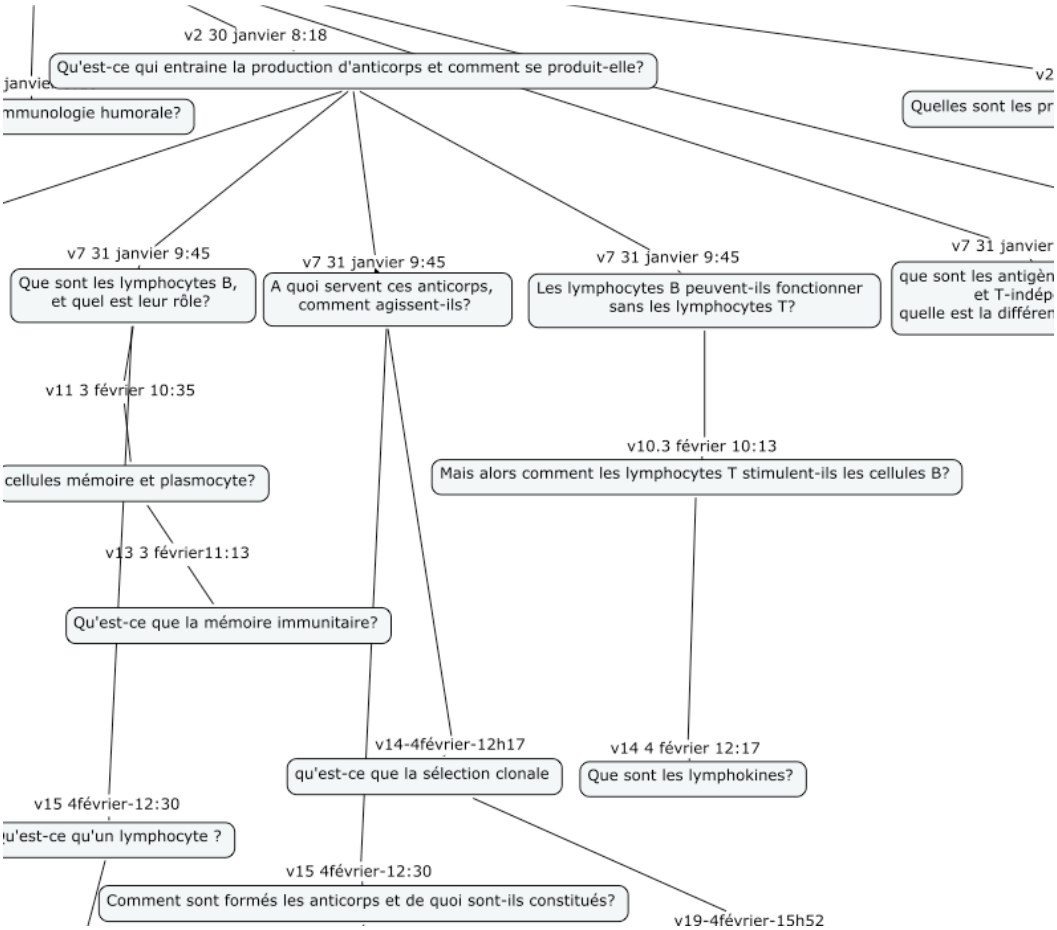



Figure 33 : Un exemple plus détaillé de filiation probable des questions : une question est subdivisée en 5 nouvelles puis 3 sont reformulées ou subdivisées. Cf. analyse dans le texte. (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)). Cette figure est reproduite en section 10.11 Annexe : Report des figures en pleine page (p. 390).

Les cas de fusion de questions (*Subsumption*) sont plus rares et faute de données suffisantes, nous avons choisi de ne pas les discuter.

Une analyse plus détaillée des concepts sous-jacents dans les questions de la Figure 32 montre au début des questions encore formulées de manière peu pertinente au paradigme (« quelles sont les principales utilités de l'immunité humorale » exprimant une vision encore finaliste version 2).

On peut toutefois observer qu'elles couvrent les principaux concepts du sous-thème (mécanismes de production d'anticorps, interactions entre Lymphocytes B et T4, mémoire immunitaire, effets des anticorps.) On voit cependant qu'une question sur les mécanismes produisant l'énorme diversité des anticorps apparaît plus tard : en version 14 apparaît « qu'est-ce que la sélection clonale » qui est encore descriptive et pas très centrale. L'investigation de cette question suscite cependant un approfondissement conceptuel causant vraisemblablement l'apparition de la question (en version 19) « comment expliquer la diversité des anticorps ? ». Cette question était probablement impossible à comprendre le 30 janvier mais prend du sens le 4 février. Elle aborde de front un des mécanismes complexes mais centraux de l'immunité humorale et s'affine progressivement en suscitant 3 autres questions en version 63 et 75. Nous interprétons que ces résultats corroborent la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme.

Examinons maintenant (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)) un autre exemple qui montre que le cheminement des questions peut être assez tortueux, mais que l'investigation converge vers les questions cruciales malgré tout.

Une question cruciale est celle de l'interaction des Lymphocytes T régulateurs (=T4) avec les lymphocytes B naïfs pour stimuler l'activation des Lymphocytes B. En 2009, cette question apparaît difficilement : dans la version 15 on n'en trouve pas trace. Seules les questions ont été reportées, pas les réponses, sauf lorsque la question n'est pas encore formulée.

> Lymphe:
>
> Lymphocyte:
>
> Antigène:
>
> Immunoglobuline:
>
> Les réponses immunitaires adaptatives sont assumées par des globules blancs sanguins appelées lymphocytes. Ces dernières sont non seulement présentent dans le sang, mais aussi dans la lymphe. Deux types de réponses immunitaires auxquelles correspondent deux types de lymphocytes: Les réponses immunitaires à médiation cellulaire sont assumées par les lymphocytes T. Les réponses par les anticorps sont assumées par les lymphocytes B
>
> *Qu'est-ce qu'un anticorps?
>
> *Comment un anticorps est constitué?
>
> *Comment agit un anticorps une fois créé?
> http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09?version=15

Dans la version 21, on trouve la question en germe dans deux questions (qui résultent de l'interaction de l'enseignant comme discuté plus bas) :

> Qu'est-ce les lymphocytes B?
>
> Comment le "bon" lymphocyte se met-il à produire les Ac correspondant à un Ag ... ?[32]

Dans la version 43, ces deux questions en ont généré plusieurs (sept semblent en découler) dont celle-ci :

> Comment se fait-il que le "bon" lymphocyte B soit activé?[33]

Dans la version définitive (111), cette question est devenue :

> Suffit-il qu'un anticorps se lie à l'antigène du lymphocyte pour déclencher le mécanisme? non, donc comment l'information, lorsque l'anticorps s'est fixé sur l'antigène, fait-elle pour passer à l'intérieur de la cellule afin de l'activer?

[32] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09?version=21
[33] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09?version=43

C'est une question imparfaitement formulée ; on trouve une meilleure formulation d'autres années cf. plus bas. Cependant, même avec cette question maladroite, la réponse contient un texte approfondi, de bonne complexité épistémique (4 descriptions élaborées, 6 explications élaborées). On peut supposer que si l'investigation avait duré plus longtemps, la règle de design ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes aurait vraisemblablement joué et l'élaboration de la réponse aurait été suivie du découpage en concepts explicitement séparés. Nous interprétons que ces résultats corroborent également la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme.

En premier lieu, on a vu que l'épitope de l'antigène se fixe sur le récepteur correspondant de la cellule B. Mais cette liaison ne suffit pas à stimuler ou à activer la maturation du lymphocyte B en plasmocyte et en B-mémoires. Effectivement, l'intervention des lymphocytes Tauxiliaires est nécessaire à l'activation complète. Dès l'arrivée d'un antigène dans le corps, un macrophage CPA l'ingère, le phagocyte et présente les morceaux de l'antigène dans sa membrane à l'aide du CMH2 qui les apporte à la surface . Un lymphocyte Ta va pouvoir se fixer à cet endroit, ce qui va l'activer. Le lymphocyte Ta avec un TCR adapté à l'antigène spécifique va proliférer s'activer. (Cf figuer 11) Celui-ci va par la suite se lier à l'antigène qui sera lui même déjà lié à un lymphocyte B. Cette suite de liaison va permettre au lymphocyte B d'être complètement activé.

Un lymphocyte B qui accueille sur ses récepteurs un antigène, va présenter comme le macrophage des fragments de l'antigène liés au CMH 2. C'est ce qui va permettre la reconnaissance avec le Ta et la présence du deuxième stimulus pour activer le lymphocyte B.

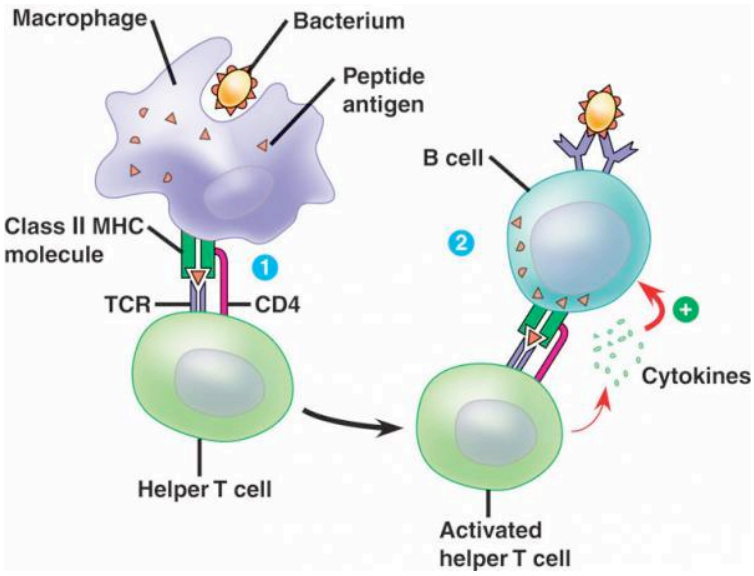



Figure 11: La fixation de l'antigène sur le récepteur + la fixation du Ta, sont nécessaires à l'activation complète des lymphocytes B.[34]

Par contraste, une autre année (2010) l'affinage conceptuel s'est produit nettement plus explicitement et la version finale distingue plusieurs questions (11) très précises pour développer cette interaction.

[34] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09

| |
|---|
| Comment un lympocyte B est-il activé ? |
| La réponse immunitaire de type humoral. |
| Quelle est la phase initiale? |
| Que se passe-t-il lorsque l'interleukine-1 active les lymphocytes T auxilliares? |
| Quels effets a prolifération de la cellule ? |
| Quelle est la spécificité de ces récepteurs TCR ? |
| Que se passe-t-il lorsque l'interleukine-2 est libérée? |
| Quels récepteurs à l'Ag y a-t-il sur les cellules B? |
| Que deviennent les cellule B divisées? |
| Quelle particularité ont les cellules mémoires B ? |
| Comment fabriquer les bons anticorps?[35] |

Ces résultats suggèrent que le dispositif conduit bien les élèves vers des questions complexes, pertinentes dans le paradigme et les guide pour trouver des réponses même lorsqu'elles sont de complexité épistémique élevée. Cela confirme les conjectures CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources, et CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme.

L'affinage des questions par les élèves confrontés à des ressources authentiques n'exclut pas le pilotage conceptuel par l'enseignant à travers la négociation des questions qui sont investiguées (global). Nous discuterons un peu plus précisément de la distinction entre ces deux formes de pilotage des questions (global – affinage) dans la question Q2C.

Ces deux exemples de cheminements diversifiés sont cohérents avec l'idée que les concepts sont un réseau (Bereiter, 2002) et que si un déroulement linéaire est inévitable dans le temps scolaire, il est possible d'y parcourir différents chemins pour parvenir aux concepts structurant le paradigme, ce que (Zabel & Gropengiesser, 2011) ont fort joliment montré dans le cas de l'évolution.

Ces exemples corroborent le postulat que les concepts structurant du champ conceptuel constituent une sorte de force centripète qui y attire l'investigation, confirmant ainsi la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. Ces productions sont aussi des indicateurs confirmant un peu les conditions correspondantes : l'action de l'enseignant (ED21, ED22), les variables de climat ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, et l'élément de design ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives).

Il est intéressant de relever que plusieurs des réponses les plus intéressantes, de complexité épistémique élevée, ont été trouvées dans des ouvrages académiques en ligne (Janeway, et al., 2001). Quand on sait la densité, le niveau franchement académique de ces ouvrages destinés aux étudiants de deuxième année de médecine, on peut interpréter ces résultats comme une confirmation d'une compétence d'investigation opiniâtre, la capacité de ce dispositif à rendre les élèves capables d'investiguer jusqu'à une réponse même conceptuellement complexe. S'il n'est pas certain que les élèves soient capables de cette compétence seuls, il faut rappeler que ce n'est tout de même pas l'objectif de ce dispositif de rendre les élèves complètement autodidactes et solitaires, mais qu'on peut interpréter ce constat comme une confirmation de l'existence d'une communauté d'apprentissage (RD2 : But d'amélioration de connaissances partagé) – plus que la

[35] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/CalWikiImmuniteHumorale-10

somme de ses parties – et que le rôle d'autorité pédagogique de l'enseignant se voit confirmé (RD4).

### 7.2.4 **Qualité et adéquation des savoirs produits**

Sur la qualité et l'opportunité des savoirs produits dans les documents des élèves, l'expert consulté indique (cf. méthodologie section 5.4.2, (p. 157)) que les documents résultant ont une très bonne « adéquation du contenu aux plans d'étude » pour les 4 années étudiées. Pour l'année 2006 par exemple, il indique une « *très bonne adéquation par rapport au plan d'étude qui intègre l'étude de l'immunologie.* »

On peut l'interpréter comme signifiant que les questions traitées sont les « bonnes » pour conduire l'investigation des élèves à couvrir tout le champ prévu dans l'institution. Cela confirme la conjecture CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions) et (ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis).

En partant de questions vagues au départ, l'investigation a bien conduit à des « bonnes » questions au sens scolaire, confirmant la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme.

Sans qu'on puisse le démontrer indiscutablement, ces observations sont compatibles avec l'hypothèse que cet affinage conceptuel et l'adéquation au paradigme scolaire sont produites par la règle de design ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes.

Sur la question de l'adéquation au paradigme scientifique en vigueur (CJ1) l'expert ne répond pas vraiment : il indique des sous-thèmes insuffisamment traités (parfois parce qu'ils sont traités dans d'autres documents par d'autres élèves en parallèle et que le découpage thématique n'est pas visible dans l'examen d'un seul document). On peut interpréter cette *non réponse* comme une difficulté à distinguer le paradigme de recherche et sa transposition scolaire. Les enseignants n'ont en effet généralement pas conscience de la transposition didactique (Chevallard, 1991). Si l'expert (cf. méthodologie section 5.4.2, (p. 157)) n'apporte pas vraiment de réponse à cette question, il mentionne tout de même dans le point E) pour les documents les mieux évaluées un niveau universitaire et l'usage d'un ouvrage académique (Janeway, et al., 2001), et dans la question B) il indique l'« *utilisation de termes pointus utilisés dans le jargon scientifique* » Nous interprétons ces indices dans le sens d'une adéquation au paradigme recherche : plus authentique au sens défini plus haut. Cela confirme la conjecture (CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions) et (ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis).

Nous argumenterons aussi que l'usage constaté d'ouvrages académiques (*Textbooks*) comme (B Alberts, et al., 2002; Janeway, et al., 2001), sont des traces de confrontation à des ressources authentiques et donc au paradigme scientifique. Ces résultats prennent du sens dans la conjecture (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources) mais ne peuvent pas être des indices solides de sa validité.

Un exemple intéressant est celui des groupes sanguins ABO et de leur transposition didactique, notamment le concept de « donneurs universels » mentionnés plus haut avec les questions « trou noir » que la transposition écarte alors qu'elles fondent les exemples présentés en classe. Voici un exemple de question le traitant (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)) :

| |
|---|
| Pourquoi avons-nous des anticorps contre les antigènes des autres groupes sanguins avant transfusion ? |

Les anti A, B sont des IgM qui sont moins spécifiques et il se trouve que des bactéries fréquentes de notre intestin ont des épitopes similaires. Pour notre propre groupe la sélection clonale élimine ceux qui réagiraient contre nos propres Ag et il reste donc ceux contre les autres Ag. Cf Solution

La référence en lien renvoie au Janeway. La réponse à cette question est très difficile à obtenir et ne semble se trouver dans aucun ouvrage de biologie générale. A vrai dire nous n'avons pas souvenir d'avoir rencontré de biologiste ni parmi les enseignants, ni parmi les étudiants fraîchement formés ou même des chercheurs en immunologie qui puissent l'expliquer avant de leur fournir cette référence.

On peut donc conclure que les étudiants ont su trouver dans le Janeway la réponse à cette question sur le mécanisme sous-jacent du type de celles qui sont au cœur de la biologie actuelle. Cela constitue une confirmation de la conjecture CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources.

Sur l'usage de ressources particulièrement authentiques selon les critères décrits plus hauts, nous observons par exemple que cette question sur la double activation des Lymphocytes T dont la formulation est de niveau académique et correspond bien à ce qui est décrit dans le Janeway. On peut noter que les élèves disposaient en classe d'une version francophone papier du Janeway, le (Parham, 2002). Nous ne discuterons pas la distinction entre ces deux ouvrages.

Comment le bon type de lymphocytes est activé par les cytokines, c.-à-d. qu'est-ce que la double activation ?

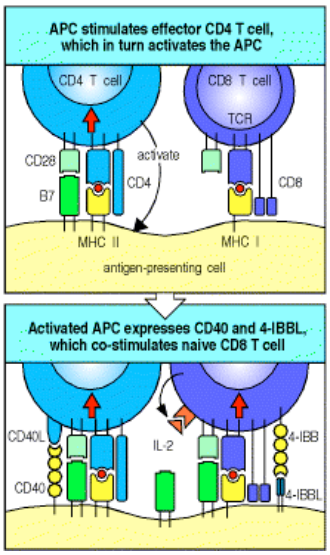



Fig. 14 : La double activation. Certaines réponses des Tc demandent les Ta : Les Tc reconnaissant les antigènes sur des cellules faiblement co-stimulatoires peuvent être activés uniquement en présence de Ta liés à la même CPA. Ceci se produit principalement par le biais d'un Ta reconnaissant un antigène sur une CPA et étant déclenché pour induire des hauts niveaux activité co-stimulatoire sur la CPA, qui va à son tour activer le Tc, afin qu'il produise lui-même sa propre IL-2.

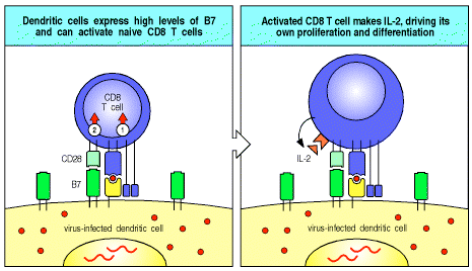
texte-ci
http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/bv.fcgi?highlight=t,cytotoxic&rid=imm.section.1020#1058

La Fig. 14 fait référence à la voie d'activation par les Ta (double activation)cf Janeway ici Dans les 2 cas c'est le fragment d'Antigène qui assure la spécificité : les cytokines n'activent qu'à très petite distance.

S'il est théoriquement possible que cette question provienne d'une autre source que le Janeway, la formulation fait référence à des concepts avancés (double activation, distinction des lymphocytes T) que l'on ne trouve que dans des ouvrages de niveau avancé ou académique. L'usage d'une image du Janeway suggère un usage approfondi de cet ouvrage.

> La Fig. 14 fait référence à la voie d'activation par les Ta (double activation)cf Janeway ici Dans les 2 cas c'est le fragment d'Antigène qui assure la spécificité : les cytokines n'activent qu'à très petite distance.

Certaines questions qui sont issues de cet ouvrage sont des indices d'usage de ressources authentiques et d'adhésion au paradigme.

> Comment un Tc peut-il être activé (cas simple) ?
>
> 
> 
>
> Fig. 13 : Une CPA active directement un Tc qui répond au meme épitope. Les Tc naïfs peuvent être activés directement par une CPA. Les Tc naïfs - qui rencontrent les molécules de CMH II à la surface des cellules dendritiques exprimant un haut niveau de molécules co-stimulatoire - sont activés pour produire IL-2 et proliférer en réponse à IL-2, éventuellement en se différenciant en une cellule Tc armée (elle n'est pas montrée sur l'image).

Globalement nous ne pouvons pas prétendre avoir de réponse indiscutable sur l'ampleur de l'usage du Janeway comme indicateurs de confrontation à des ressources authentiques, mais les traces assez nombreuses dans les textes ainsi que les observations de l'enseignant en classe (comme la précipitation des élèves vers cet ouvrage lors des activités de recherche en classe) confirment assez nettement la conjecture CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources.

### 7.2.5 **Analyse de l'évolution du type de questions**

Pour explorer la qualité des réponses et leur adéquation au paradigme, nous avions, au début du projet en 2007, analysé les types de questions selon deux catégories distinguant les mécanismes et les descriptions (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)). Nous avons publié dans (F. Lombard, 2007) une première analyse distinguant les Questions Descriptives (QD) et les Questions de Mécanismes (QM) dont nous extrayons cette figure. Comme nous avons depuis trouvé une meilleure mesure, nous présentons un seul exemple pour en montrer les limites et étayer la pertinence de la complexité épistémique.

Un document wiki dans la classe 3OS au début de l'année[36] est structuré autour de 1 question de description (QD), et 9 questions de mécanisme (QM). Dans la même classe en fin d'année, un document wiki[37] est structuré par 13 QD, 18 QM.

---

[36] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/FacteurLumi%E8re06
[37] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/LaboVision06

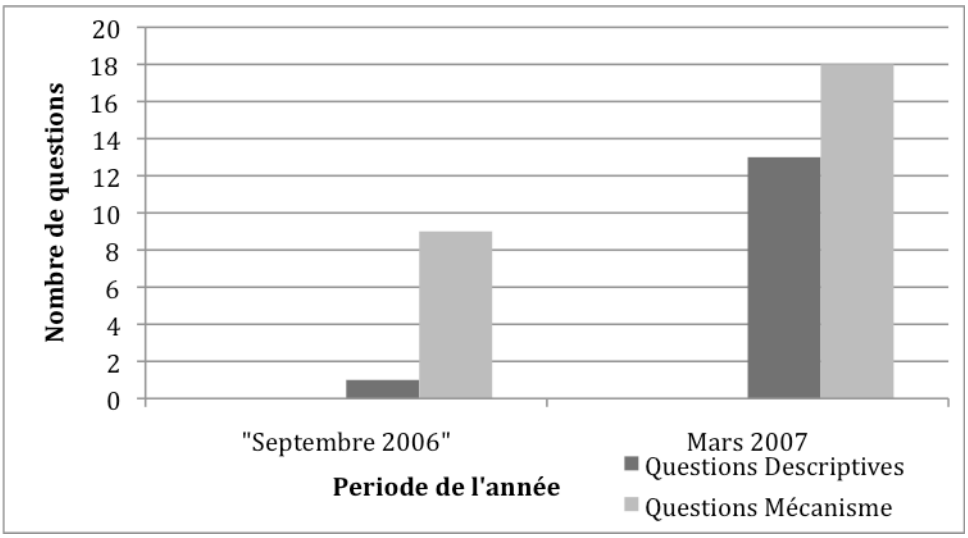



Figure 34 : Exemple d'évolution du type de questions au cours de l'année 2007. La comparaison montre un large accroissement des QD (Questions Descriptives) mais aussi des QM (Questions de Mécanisme).

Un document wiki dans la classe 4OS au début de l'année[38] est structuré dans sa version finale par 11 QD (Questions Descriptives) et 7 QM (Questions de Mécanisme)

Un document wiki[39] dans cette classe comparé entre le début et la fin de l'année est structuré par :

- Version 2 :1 QD (Questions Descriptives) et 2 QM (Questions de Mécanisme)
- Version Finale 10 QD (Questions Descriptives), 20 QM (Questions de Mécanisme).

L'analyse du type de questions suggère que le dispositif est effectivement capable de produire des questions pertinentes, puisqu'on investigue les mécanismes qui sont au cœur du paradigme de la biologie actuelle, confirmant légèrement les conjectures CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources et CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme.

Ces analyses ne nous informent que très indirectement sur les apprentissages visés car les questions investiguées ne traduisent pas forcément la qualité des *réponses* produites. Celles-ci nous paraissent refléter plus fidèlement les connaissances des élèves. Cette analyse n'a pas paru suffisamment pertinente et a été abandonnée. Elle n'est mentionnée ici que pour étayer la progression vers le choix d'autres méthodes de mesure de la qualité des apprentissages, puisqu'un des objectifs de cette recherche est d'identifier et de discuter des variables pertinentes pour mesurer la progression des apprentissages scientifiques dans l'IBL.

### 7.2.6 **Complexité épistémique des réponses produites par les élèves**

Effectivement, on pourrait objecter que de bonnes questions ne produisent pas forcément de bonnes réponses et *a fortiori* ne garantissent pas de bons apprentissages. Nous avons vu dans les méthodologies que l'analyse des questions renseigne sur le guidage de l'investigation, mais que les productions des élèves – les réponses – révèlent des informations indispensables pour discuter des apprentissages effectifs.

---

[38] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/StructureADN06
[39] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunoHumorale06

Nous avons trouvé avec la mesure à 4 niveaux de (Hakkarainen & Sintonen, 2002) de complexité épistémique (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) un indicateur de pertinence scientifique – d'adéquation au paradigme actuel de la biologie. Elle permet de mesurer une des dimensions de l'épaisseur scientifique des connaissances puisqu'une justification argumentée des affirmations obtient la valeur de 4 sur cette échelle, et que la justification étayée est un des critères de scientificité que nous avons retenu en référence à (Hofer & Pintrich, 1997) et à (Toulmin, 1958).

La complexité épistémique a été mesurée à trois moments (cf. Figure 21 pour la temporalité des analyse) au cours de la même investigation du même sous-thème (analyse stratigraphique pour 2 années arbitrairement choisies : 2006 et 2007), et entre le début de l'année et la fin (analyse *yearlong* annuelle pour 2 années arbitrairement choisies : 2007-2008 et 2008-2009).

Pour cette étude exploratoire, un échantillonnage limité a été estimé suffisant pour vérifier qu'il ne s'agirait pas d'un cas particulier à cette année-là. Rappelons que l'objectif est d'abord d'identifier des variables pertinentes pour élaborer et piloter des designs d'apprentissage des sciences et d'estimer la portée des conclusions basées sur ces résultats. Que cela suscite de nouvelles pistes de recherches et d'approfondissement sera discuté dans la conclusion.

L'analyse *yearlong* pour l'année 2007 (cf. Figure 35) d'un wiki de groupe montre que la complexité épistémique des réponses augmente au cours de l'investigation : le nombre d'items (concepts) relevés augmente tout au long de l'investigation dans toutes les catégories : les élèves ont présenté dans leur texte 223 items en 2007. Cette ampleur est typique : on en dénombre 220 en 2006. Il s'agit d'un des quatre groupes de 3 élèves, aussi la brochure résultante pour préparer les examens contient de l'ordre d'un millier d'items : la somme de savoirs synthétisés dans ces pages et à connaître pour l'examen est considérable. S'il s'agit d'un reflet des connaissances des élèves, on peut déjà y voir le signe que ce dispositif produit des connaissances abondantes. En distinguant les catégories de complexité épistémique, on observe que la complexité maximale augmente surtout vers la fin : on ne trouve que 2 explications élaborées à la version 10 et 9 à la version 44, mais à la version finale on en trouve 50, représentant 22.4 % du nombre total d'items identifiés dans le document.

Pour analyser plus finement les effets de la progression dans l'investigation sur le développement conceptuel, nous présenterons les mêmes données mais pour deux années (2006 et 2007) dans un format qui différencie mieux le développement des différentes composantes de la complexité épistémique d'un document wiki[40] (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)). L'analyse stratigraphique illustrée dans les Figure 36 et Figure 37 montre comment les composantes de la complexité épistémique des réponses se développent dans le temps. On observe que les réponses sont d'abord des descriptions et que les mécanismes étayés n'apparaissent que dans la seconde partie de l'investigation.

[40] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunoHumorale06

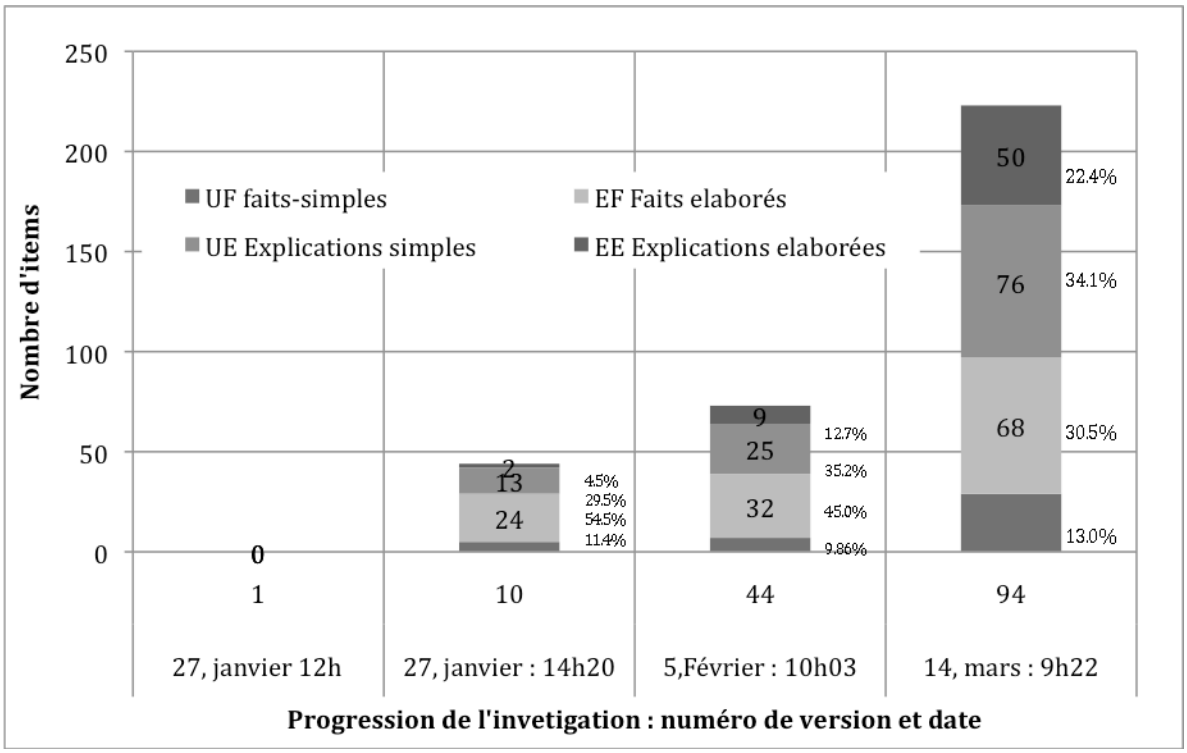



Figure 35 : Complexité épistémique d'une investigation pour un groupe en fonction du temps, avec indication des pourcentages. La complexité épistémique des réponses dans un document wiki augmente au cours de son élaboration (fin d'année 2007).

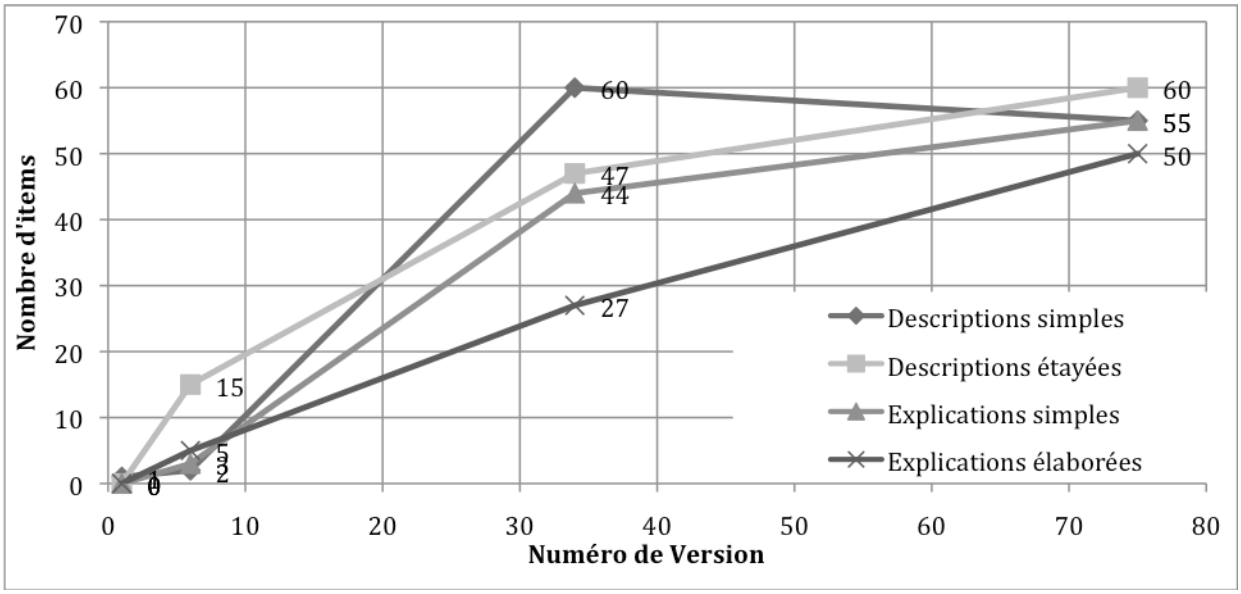



Figure 36 : Développement des composantes de la complexité épistémique d'un document wiki[41] produit en fin d'année en fonction des numéros de version (année 2006).

Si l'on regarde la complexité épistémique par exemple pour l'année 2007, les premières réponses (version 12) sont surtout descriptives (29 items) et rarement explicatives (15 items dont

[41] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunoHumorale06

seulement 2 explications étayées). Vers le milieu de l'investigation (version 45), les réponses sont équilibrées entre descriptives (39 items) et explicatives (34 items dont 9 explications étayées). En version finale (95), les réponses sont majoritairement explicatives (126 items dont 50 explications étayées), même si les réponses descriptives sont nombreuses (97 items). Au total, ce document contient 223 items, c'est-à-dire que ces 3 élèves ont produit un savoir considérable, même si on considère qu'il y a sans doute des doublons, on peut estimer à 800 items de savoir la production qui sert de base pour préparer l'examen.

Si l'on examine l'allure des courbes, avec les autres résultats sur le nombre de mots (Figure 29) et de questions (Figure 30), nous considérons qu'un faisceau d'indices convergents confirme l'existence de 3 phases distinctes dans les productions constatées dans les wikis que nous supposons refléter le développement des connaissances. Nous interprétons comme un moment d'exploration et de repérage conceptuel (version 1 à 12 pour 2007) la première phase, associé à un nombre de questions augmentant rapidement, à des réponses majoritairement descriptives. Après la première échéance (activité III), une deuxième phase (version 12 à 45 pour 2007) est marquée par une stabilisation du nombre de questions malgré un accroissement de l'ampleur des textes, un nombre important de reformulation de questions et un premier développement de la complexité épistémique.

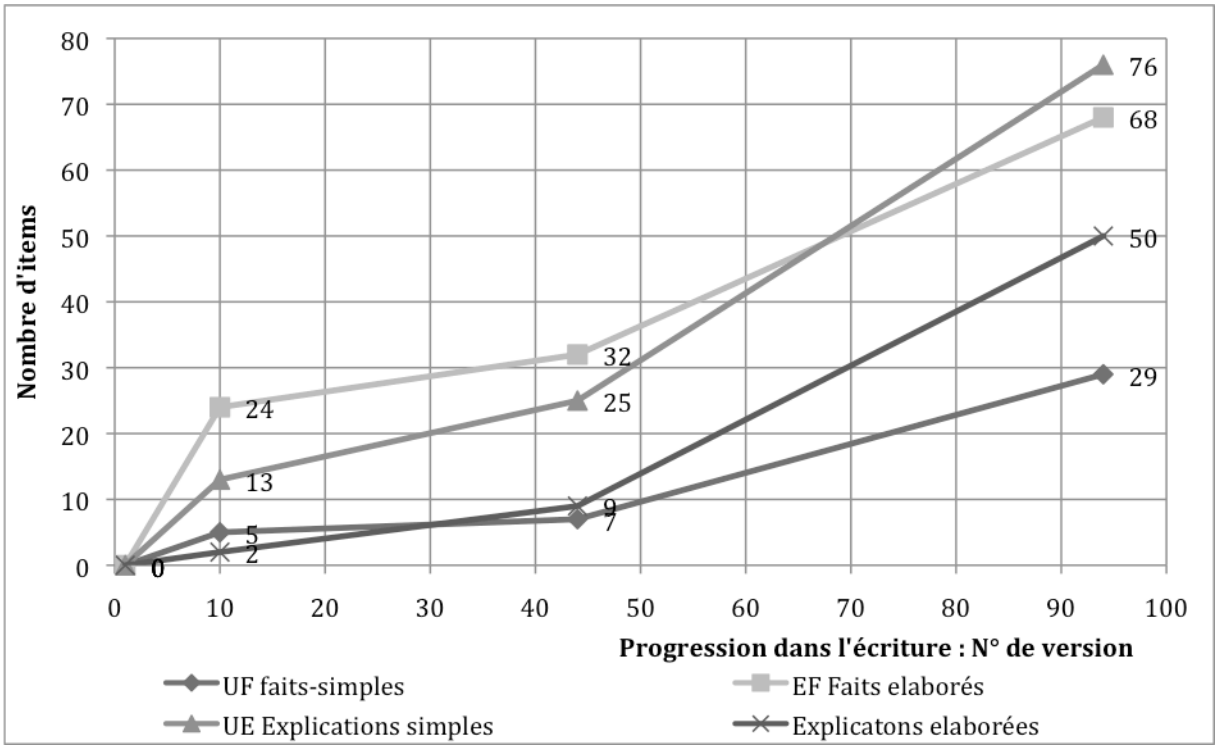



Figure 37 : Développement des composantes de la complexité épistémique d'un document wiki[42] en fonction des numéros de version (fin d'année 2007).

Ces indicateurs nous semblent refléter une maîtrise progressive par les élèves des termes et notions de base permettant d'aborder ensuite la complexité des mécanismes sous-jacents. Le nombre de questions et de reformulations de questions – qui ne changent guère – peut être interprétés comme un temps d'approfondissement des concepts. Le troisième moment de l'investigation (dès la version 45 pour 2007) commence après l'activité IV (présentation). On y voit la complexité épistémique augmenter, ce que l'on peut interpréter comme

[42] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmuniteHumorale07

l'approfondissement de l'investigation dans les mécanismes complexes qui permet l'épanouissement chez les élèves de connaissances complexes dans le paradigme de la biologie. Cette phase est donc particulièrement importante puisque c'est seulement à ce moment-là de l'investigation que les connaissances les plus pertinentes sont développées. Ces résultats confirment la durée nécessaire à l'investigation pour porter ses fruits que (Songer, 2006) et (Etkina, et al., 2008) avaient relevée, mais qu'une grande partie de la littérature sur l'investigation semble ignorer. Ce constat répété sur les années est la base de la règle de design ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré.

La grande complexité épistémique atteinte dans les textes par les élèves peut être interprétée comme reflétant des connaissances d'épaisseur scientifique favorable. Les explications étayées par des ressources *plus* authentiques (plus près des données) manifestent une justification des affirmations qui peut représenter de manière minimale une argumentation au sens de (Toulmin, 1958). Effectivement obligé de se passer de l'autorité scientifique du maître, l'élève manifeste, par ses choix dans l'abondance de ressources disponibles, une forme de validation autonome, un des critères de la connaissance scientifique que nous avons présenté. On pourrait argumenter que c'est pour aller chercher l'autorité scientifique des ouvrages sélectionnés. Sans doute, mais nous avons argumenté plus haut que l'élève fait un pas crucial vers l'autonomie dans la validation scientifique puisque la question qu'il investigue l'a affranchi des textes prescrits qu'il suffit d'apprendre (le « texte du savoir »). Nous interprétons ces données comme des indices sérieux confirmant la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. Ils confirment la possibilité et même l'efficacité de l'ensemble du dispositif, mais en particulier de l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves.

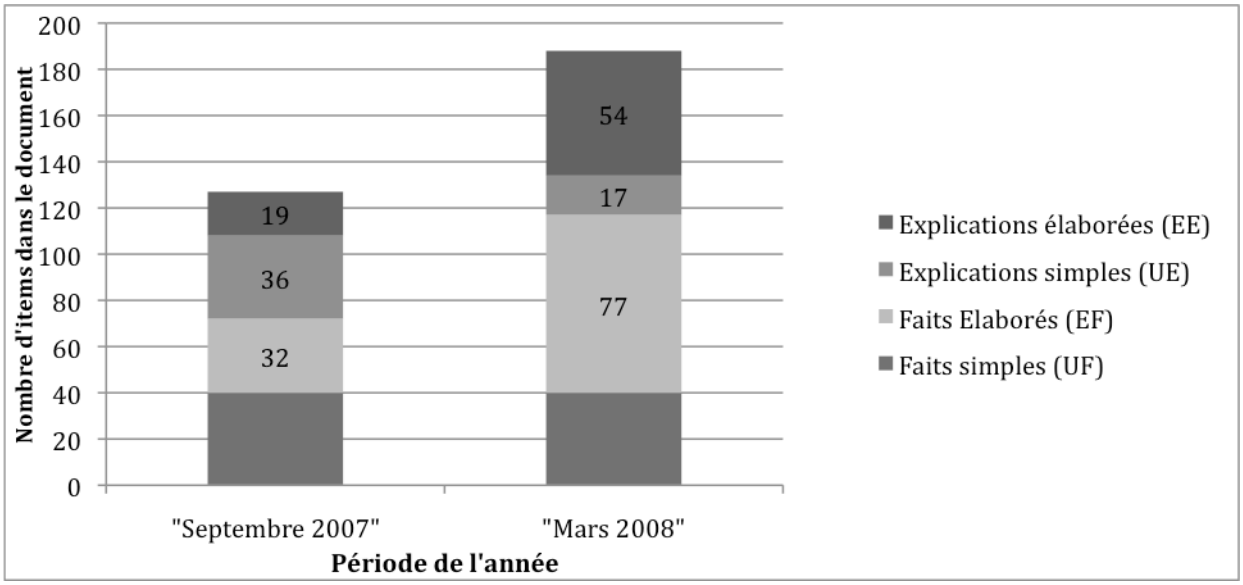
L'élève qui a une question (au sens riche de *posséder* et de *comprendre* la question), obligé de sélectionner des ressources, d'y chercher les réponses, de les composer, de les présenter, met en jeu des processus cognitifs de validation active, de synthèse, de confrontation qui – nous l'avons discuté – produisent vraisemblablement des connaissances avec plus d'épaisseur métacognitive (source, justification, structure, degré de certitude) (Hofer & Pintrich, 1997). Les résultats montrent bien des nuances et le degré de cette épaisseur ne doit pas être surestimé, mais les données nous paraissent permettre d'affirmer que cette épaisseur est plus grande que lorsqu'un élève reçoit des documents prescrits par l'enseignant qu'il lui suffit d'apprendre (le « texte du savoir »). Cela constitue donc une confirmation de la conjecture CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions.

Ainsi ces données confirment de manière assez convaincante plusieurs éléments de design : de nombreuses itérations d'écriture (ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances) dans une production commune (ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe), des confrontations socio-cognitives entre pairs et avec l'enseignant tôt dans le processus d'investigation (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel), ainsi que l'existence d'un but d'amélioration des connaissances partagé (ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté). La règle d'unicité qui conduit à l'affinage conceptuel s'avère aussi cruciale et bien confirmée ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes.

Nous avions argumenté avec (Songer, 2006) et (Etkina, et al., 2008) que l'investigation prendrait du temps à se développer, nous avons notamment envisagé qu'un contrat didactique radicalement différent devrait être construit dans la durée, que les habiletés d'apprentissage coopératif devraient être construites progressivement (Buchs, et al., 2012) et donc que cette complexité ne serait pas

obtenue dès les premières investigations. Ces considérations confirment la conjecture qu'il faut prévoir pour l'investigation une durée importante ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré.

Pour vérifier ces conjectures, nous avons procédé à une comparaison *yearlong* des documents produits par un même groupe au début et en fin d'année en termes de complexité épistémique. En effet, au cours d'une année, chaque groupe réalise environ 5 investigations (cf. Figure 25) produisant chaque fois un document élaboré au cours de dizaines de révisions. Nous avons observé les versions finales d'un document du début de l'année (en biologie moléculaire) et en fin d'année (immunologie humorale, le même document étudié dans l'analyse stratigraphique) pour les années 2008 et 2009 (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)).



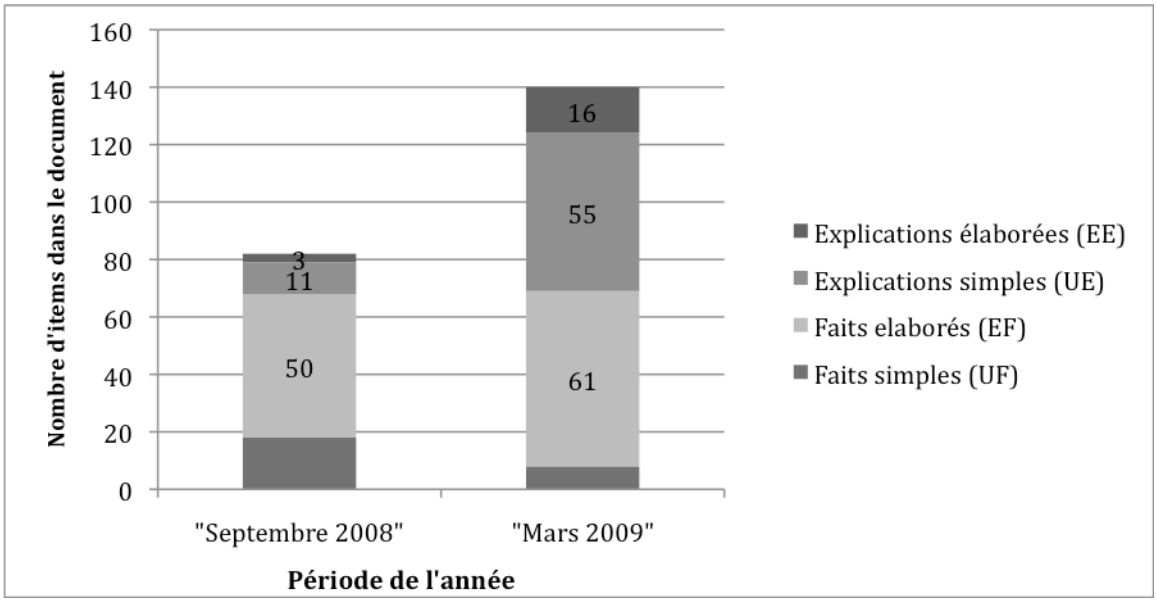




Figure 38 : La complexité épistémique des réponses dans un document wiki au début de l'année et en fin d'année : le total d'unités de sens et la proportion d'explications élaborées augmentent, ce qui indique que l'ampleur des texte et la complexité abordée s'accroissent.

Dans les deux années étudiées (cf. Figure 38) le nombre d'unités de sens produites est bien plus grand en fin d'année (127-> 188 et 82-> 139) et la proportion d'explications élaborées augmente

(19-> 54 et 3-> 16), ce qui indique que l'ampleur des textes d'explications s'accroît et que la complexité abordée augmente.

Ces résultats suggèrent que les élèves ne parviennent à aborder vraiment la complexité épistémique qu'après plusieurs semaines. Nous l'interprétons comme le temps nécessaire à construire le contrat didactique, une structure coopérative (notamment la confiance dans le dispositif et le sentiment de sécurité) et les compétences d'intelligence informationnelle (sélection, validation, synthèse, rédaction) : c'est ce constat qui a fondé les règles de design ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré, ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages, ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves.

Avec les résultats de l'analyse stratigraphique, ces résultats suggèrent que le temps pour que la complexité épistémique se manifeste est long aussi bien dans la temporalité annuelle *yearlong* pour la construction des compétences nécessaires (plusieurs mois, ED6) que dans la temporalité *stratigraphique* (3 semaines, ED6) pour construire des questions et des réponses approfondies en adéquation avec le paradigme. On pourrait le dire autrement : le dispositif IBL ne produit des savoirs complexes qu'après un temps long.

Nous allons maintenant synthétiser nos résultats sur la question Q2B : « *Comment les questions se précisent-elles et convergent-elles vers celles compatibles avec le paradigme ?* ».

Nos résultats suggèrent qu'une négociation des questions (ED11), des feed-back suscitant le conflit socio-cognitif (ED21) dans une production qui fait du sens pour l'élève (ED17) et un but d'amélioration de connaissances partagé (ED2) peuvent préciser les questions d'investigation tout en laissant la responsabilité auprès des élèves (CJ3).

Nous avons vu qu'il y a une tension entre la dévolution aux élèves des questions et le guidage vers des connaissances reconnues par l'institution. Il y a aussi l'inquiétude qu'une dévolution des questions permette aux élèves d'esquiver les concepts cruciaux – souvent ardus – et que l'investigation reste dans l'étude de questions triviales.

Nous inspirant de (Hakkarainen & Sintonen, 2002), nous avons conçu un dispositif supporté par un environnement technopédagogique en vue de mener les apprenants depuis des questions vagues vers des questions complexes, fécondes et pertinentes au paradigme, c'est-à-dire dont la réponse serait un avancement de la connaissance en direction des objectifs.

Nous allons étudier si les questions guident effectivement l'investigation, si la dévolution s'est produite et si les élèves sont bien responsables des questions. Nous observerons comme indicateurs leur investissement, leurs productions, la correspondance entre questions et réponses, et si le contrôle de l'investigation permet effectivement d'en contrôler l'étendue pour couvrir le champ curriculaire. Le rapport de l'expert permettra de confirmer cette couverture et l'adéquation des savoirs produits aux exigences de l'institution (cf. méthodologie section 5.4.2, (p. 157)). Pour s'assurer que les connaissances soient assez approfondies nous mesurons la complexité épistémique.

### 7.2.7 **Effets de la règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses**

La règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses peut être énoncée ainsi :

> ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes.

Elle est incarnée dans l'élément de design ED1, issu de ce dispositif mais dans la littérature nous n'en avons pas trouvé mention. A notre connaissance, la *recommandation de design* correspondante est un résultat réellement nouveau de cette thèse.

Elle apparaît dans les critères d'évaluation donnés aux élèves, sous cette forme :

> «Articulé autour des questions-réponses, paragraphes centrés sur un concept» Cf. 10.2 Annexe : Critères d'évaluation des pages p. 367)

Comment le dispositif fait-il respecter cette règle ? Le dire ne suffit pas (ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves). On observe que les élèves l'intègrent à partir des feed-back de l'enseignant dans les régulations orales ou écrites par les remarques des pairs lors des présentations (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel). On peut aussi interpréter avec la théorie de l'engagement (Joule, 2002) que la responsabilité face aux autres conduit chacun des élèves à respecter cette règle. Ces derniers ont pu voir qu'elle guide la production dans le wiki des savoirs, aidant les pairs à développer des connaissances pour réussir leurs examens (conformes aux objectifs).

Nous avons vu que l'analyse conceptuelle a mis en évidence la place centrale de cette recommandation de design. Nous allons discuter les résultats pour observer en particulier son rôle dans l'approfondissement conceptuel et le guidage de l'investigation.

Cette règle tend à assurer que les questions générales du début s'affinent puisqu'au fur et à mesure que les réponses s'étoffent, elles contiennent forcément les réponses à plusieurs questions qui doivent être explicitées et conduisent à l'affinage conceptuel, comme nous l'avons discuté plus haut.

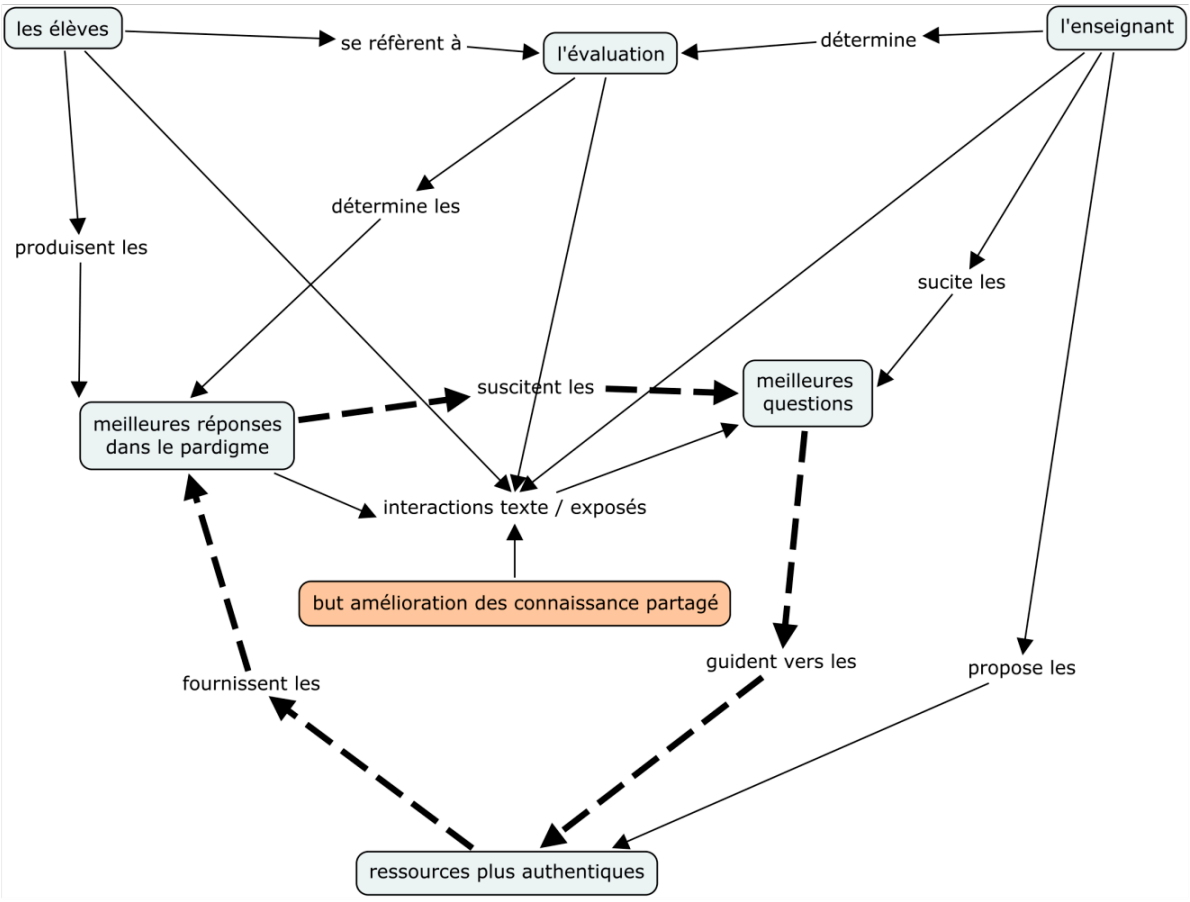



Figure 39 : Principales relations entre les conditions et variables de guidage de l'investigation.

En principe, l'investigation est guidée par les questions mais en réalité ce guidage est menacé par la facilité d'accès à certaines réponses connexes et par la persistance de questions vagues du début. La règle d'unicité conceptuelle est destinée à la maintenir effectivement focalisée sur les questions dans leur conceptualisation qui progresse sans quoi le pilotage par les questions n'est plus possible et l'approfondissement conceptuel pas assuré.

Il est très souvent arrivé que des réponses excellentes soient inscrites dans le wiki mais qu'elles ne correspondent pas bien à la question. Sans une intervention en vertu de cette règle, c'est la réponse qui commence à guider l'investigation qui glisse alors vers ce qui est facile à trouver – parfois très loin du paradigme notamment s'il s'agit d'évolution, de vaccins ou de génie génétique – et le guidage par les questions se perd. Il ne reste alors à l'enseignant que le choix douloureux d'intervenir massivement dans les réponses et de risquer de perdre la dévolution ou de laisser l'investigation errer vers ce qui est facile à trouver sur internet.

Au départ, il est évident dans l'investigation que chaque question doit être suivie de réponses. Nous avons observé au début de l'analyse pluriannuelle mais aussi au début de l'analyse *yearlong* que les élèves reproduisent des textes lus ou des propos entendus sans qu'ils correspondent forcément à une question explicite dont l'élève serait clairement responsable : l'investigation court alors le risque de devenir une simple compilation de réponses facilement trouvées. Comme cette simple compilation est probablement une pratique courante dans l'école, le contrat didactique plus exigeant dans cet IBL n'est probablement pas compris au début. De plus, il est difficile pour l'élève et également pour l'enseignant de remettre en cause des textes provenant de sources d'autorité telles que des parents médecins, des ouvrages de biologie ou de

médecine, des sites sérieux,… Cette règle permet d'éviter les jugements de valeur de ces sources pour discuter de leur pertinence à l'investigation.

Plusieurs auteurs (Rouet, Ros, Goumi, Macedo-Rouet, & Dinet, 2010) montrent le risque que les élèves novices sur un sujet se contentent d'indices de surface dans la sélection des réponses. Cette règle oblige à approfondir pour sélectionner des réponses de pertinence profonde.

On ne peut cependant pas parler de production ou de validation de connaissance scientifique pour une simple reformulation, retranscription ou même copier-coller, même si les informations sont parfaitement pertinentes. L'investigation peut impliquer des activités cognitives de moyen ou de haut niveau. Si l'élève peut simplement résumer des réponses, il pratique des activités cognitives de plus bas niveau que si on l'oblige à synthétiser (cf. discussion en fin de section 4.4.6 (p. 123)). Nous y avons discuté combien une simple réécriture diffère d'une réelle synthèse et combien il importe que le choix des questions détermine les réponses : c'est parce que la réponse ne se trouve pas telle quelle dans les activités ou dans les documents que la question oblige à la synthèse de textes lus.

On observe dans ce cas que l'investigation n'est plus guidée par les questions mais par l'accessibilité des documents. On n'a pas de réelle sélection des sources dans un large éventail mais une modification de l'activité effective des élèves par les ressources qui se sont imposées comme réponses sans forcément résulter d'une question guidant l'investigation.

Cette règle d'unicité conceptuelle des questions et réponses nous paraît jouer un rôle déterminant dans le dispositif pour prévenir ce problème de dégénérescence de l'investigation en compilation.

Cette règle a été introduite en réaction à des réponses constituées de textes recopiés sans intégration dans le reste du document : des réponses qui ne paraissaient pas résulter d'un travail cognitif intéressant de l'élève, ni le susciter. Elle a guidé implicitement le feed-back dès 2005 et a été explicitée dans les critères d'évaluation des pages en 2006-2007.

Son importance est apparue plus nettement au cours des implémentations successives d'année en année : elle rend possible le guidage sans tomber dans l'argument d'autorité, elle oblige les élèves à sélectionner leurs sources en fonction de l'investigation, elle favorise une digestion par l'élève des textes trouvés pour produire des connaissances exprimées dans les savoirs pour la communauté d'apprenants.

La règle est indiquée dans les critères d'évaluation des pages wiki, mais surtout elle est mise en œuvre dans les feed-back de l'enseignant : chaque paragraphe du texte produit doit être précédé d'une question qui corresponde à la réponse produite.

L'assimilation par les élèves de cette règle du contrat didactique a été favorisée dès 2008 par une *activité de test du contrat didactique* assez tôt dans l'année qui aide les élèves à comprendre et intégrer cette règle en voyant ses effets sur la production du savoir partagé en référence à l'élément de design ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves.

Pour conclure sur cette sous-question, nous interprétons ces données, en particulier les textes et les productions qui sont effectivement synthétiques et pertinents, comme une confirmation de cette règle. Il n'est pas possible d'affirmer qu'elle est la cause unique de ces résultats mais étant donné la difficulté à obtenir ces effets éducatifs, nous considérons qu'elle peut être suggérée comme recommandation de design.

Les conditions de validité nous paraissent être au minimum la structure coopérative, le but d'apprentissage partagé, la production commune qui fait du sens et la focalisation sur la biologie (ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives, ED2 : Les apprenants et l'enseignant

partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe et ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis). Bien que partiellement atteintes, ces conditions ont permis des apprentissages de qualité, ce qui suggère une certaine robustesse des conjectures qui fondent ces éléments de design.

### 7.2.8 **Synthèse pour la question Q2B**

Résumons maintenant les éléments de réponse à la question de recherche Q2B : *Comment assurer le contrôle de l'investigation tout en respectant l'autonomie des élèves ?* Et les sous-questions de recherche : *Comment les questions se précisent-elles et convergent-elles vers celles compatibles avec le paradigme ? Comment articuler le guidage des questions et la dévolution des questions ? Comment les questions et les ressources guident-elles l'investigation ?*

Prenons d'abord la sous-question : *Comment les questions se précisent-elles et convergent-elles vers celles compatibles avec le paradigme ?*

Si les questions sont au cœur de l'IBL et qu'elles orientent l'investigation, leur gestion et leur évolution sont décisives pour l'adéquation au paradigme.

Nous avons vu que le nombre de mots (reflétant l'investissement), le nombre de questions (reflétant l'étendue de l'investigation), la complexité épistémique (reflétant l'adéquation au paradigme des connaissances) des réponses au cours des versions suggèrent un approfondissement et une adéquation au paradigme. Nous voyons effectivement leur nombre augmenter très vite au début de l'investigation, se stabiliser et subir quelques modifications après les activités III d'échéance et présentation, puis augmenter un peu dans la phase menant à l'institutionnalisation. Le type de question constitue un indice que l'investigation aborde les concepts centraux du paradigme de la biologie (les mécanismes sous-jacents), mais la complexité épistémique des réponses fournit des indices plus solides que les « bonnes » questions sont effectivement traitées. Nous avons ensuite trouvé dans l'évolution des questions des indices solides que les concepts structurant du champ conceptuel constituent une sorte de force centripète qui y attire l'investigation confirmant la conjecture CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. Par des chemins différents chaque année, les élèves sont parvenus aux « bonnes » questions de manière itérative en poursuivant des questions qui s'améliorent au fur et à mesure qu'ils comprennent mieux le domaine « *By finding answers to subordinate questions, an agent approaches step by step toward answering the big initial question, and thus changes his or her epistemic situation* » (Hakkarainen & Sintonen, 2002 p. 28).

L'observation que des cheminements différents plutôt qu'une succession d'étapes conduisent à l'élaboration de concepts avait été mise en évidence dans le cas de l'évolution (Zabel & Gropengiesser, 2011), et illustrée dans les cartes conceptuelles développées dans le cadre du Project 2061 par des experts (cf. Figure 1 p. 28) : les concepts sont reliés entre eux et forment un réseau et non une échelle ou un escalier. Naturellement le déroulement du temps scolaire oblige à linéariser, et la transposition dans les pratiques scolaires peut faire perdre de vue cette structure en réseau et prendre une progression temporelle donnée pour unique cheminement vers les connaissances élaborées. L'investigation réelle n'est possible que si l'enseignant conceptualise les savoirs avec plusieurs cheminements possibles pour guider (ou fournir un guidage par les ressources) les élèves le long de leur parcours conceptuel.

La pertinence des savoirs sélectionnés et synthétisés par les élèves (et la pertinence des questions) est confirmée par l'expert. Nous pouvons déjà interpréter ces résultats comme confirmant que le dispositif parvient effectivement aux questions structurantes du paradigme tout

en étant conforme aux exigences curriculaires. Quant aux mécanismes qui rendent possible cette convergence, nous y voyons d'abord une confirmation que c'est principalement la structure des savoirs qui oriente vers les concepts structurants – au sens de (Wiggins & McTighe, 2000), et que dans un climat de *knowledge improvement* (ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté), l'investigation conduit vers les questions centrales du domaine (Scardamalia & Bereiter, 2006). Ce but partagé est donc crucial. Il se manifeste notamment par la co-écriture abondante dans un espace d'écriture partagé, une structure coopérative, l'obligation de présenter aux pairs un document qui fait du sens (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage, ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives, ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel, ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe).

Nos résultats dans l'analyse du suivi d'une question suggèrent que la règle ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes est particulièrement importante pour inciter à l'approfondissement conceptuel et permettre le guidage par les questions.

Nous avons vu que tous ces éléments de design se traduisent par un contrat didactique qui prend du temps à être négocié ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves).

Nous observons avec ces résultats une confirmation que la dévolution des questions est possible (ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs) sans renoncer à l'approfondissement et au guidage.

*Comment les questions et les ressources guident-elles l'investigation ?*

Nous avons discuté plus haut que l'analyse de la filiation conceptuelle des questions co-écrites et les moments de leur développement ou de leur modification peuvent être mis en rapport avec le développement de la complexité épistémique mesurée. Le développement de cette complexité suggère que l'approfondissement et la poursuite des questions centrales du paradigme peuvent être obtenus par un processus de construction de leurs questions en même temps que leurs connaissances s'approfondissent (ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur, ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances). L'analyse de nos résultats suggère qu'une sorte de cycle vertueux des questions et ressources conduit l'investigation vers les concepts structurants si les questions sont réellement dévolues aux élèves.

Il semble cependant nécessaire :

- qu'elles soient négociées en rapport explicite avec les objectifs, (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves, ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs)

- que des activités suscitent les questions (activité I) et qu'un espace (anti-Sisyphe) conserve ces questions et les mutualise ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur
- de veiller à ce que les questions apparaissent dans l'activité I et II couvant l'ensemble du champ conceptuel avant de passer à l'activité III : les questions peuvent converger vers les concepts structurants, mais si un champ entier n'est pas ensemencé de la moindre question, il faut une intervention de l'enseignant
- que les élèves soient confrontés à des ressources authentiques lorsque les questions qu'ils investiguent le permettent (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources)
- que le feed-back ne donne pas les réponses mais suscite le conflit cognitif (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes), notamment en indiquant des incohérences entre les productions des élèves et des ressources authentiques vers lesquelles il renvoie (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources).

*Comment assurer le contrôle de l'investigation tout en respectant l'autonomie des élèves ?*

Le guidage nécessaire de l'investigation est en tension avec la responsabilité laissée aux élèves de leurs questions qui fonde l'investigation. Nos résultats suggèrent qu'on peut dévoluer aux élèves le rôle de répondre aux questions (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves) mais que l'enseignant doit rester le garant du choix des questions d'investigation. Ainsi la tension dévolution - contrôle se résout dans la mesure où :

- Les questions sont négociées
  - lors des feed-back dans l'espace d'écriture partagé
  - lors des présentations intermédiaires
  - par l'enseignant mais aussi par le coordinateur (ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs).
- L'enseignant ne *corrige* pas une question d'élève (ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité), il peut suggérer une reformulation, un déplacement dans la structure.
- L'attribution des thèmes et des questions est d'abord laissée au choix des élèves, pour susciter l'engagement et la motivation, puis au fur et à mesure que la communauté d'apprentissage s'établit ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, les choix des thèmes et questions peuvent être plus directement guidés par les objectifs et la structure des savoirs.
- L'enseignant justifie ses choix en rapport avec les objectifs et le paradigme de la discipline (ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves).

En guise de synthèse de la question Q2B à propos du paradoxe du guidage et de la dévolution des questions, nous relèverons d'abord qu'il se résout si l'on considère les questions comme une construction progressive par affinage : le processus de leur construction est plus important que leur adéquation au départ. Les mécanismes qui les font converger vers les « bonnes » questions doivent retenir l'attention aussi bien lors de la conception de designs que dans leur conduite. En effet, nos résultats suggèrent qu'une autorité pédagogique peut garantir la couverture curriculaire et l'approfondissement dans le paradigme de la biologie à travers i) la négociation des questions qui appartiennent aux élèves en rapport explicite avec des objectifs partagés et une évaluation alignée et ii) des feed-back qui indiquent des incohérences et guident vers des ressources plus authentiques. Le transfert de l'autorité scientifique vers les ressources repose sur une posture de

l'enseignant qui renonce fermement à *donner les réponses* (ce serait un argument d'autorité, rendant impossible la connaissance scientifique et le conflit socio-cognitif, l'argumentation qui valide les connaissances). Là aussi, la structure du design fonctionne comme un cadre qui permet la liberté des élèves. Les feed-back relevant les incohérences et indiquant des ressources authentiques peuvent conduire l'investigation vers les concepts structurants par l'effet centripète de la structure des savoirs dans le paradigme. L'attitude de l'enseignant face aux ressources diverses que les élèves trouvent sur internet est aussi décisive : elles sont discutées pour leur cohérence avec les autres ressources authentiques et leur pertinence épistémologique au paradigme de la biologie.

Cela confirme que ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant), CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources et ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves sont cruciaux pour résoudre le paradoxe du guidage de l'investigation respectant la dévolution des questions et confirment la conjecture (CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions).

Nos résultats suggèrent que même avec des ressources d'authenticité partielle, des cheminements tortueux parmi des ressources très hétérogènes, des questions très imparfaites au début, des textes qui n'ont pas évité les pièges des informations faciles, des présentations par les pairs – forcément moins bonnes que celles d'un enseignant expérimenté – la dynamique de négociation des questions et l'interaction avec les ressources ont conduit l'investigation globalement vers les bonnes questions et que les élèves ont pu développer des connaissances suffisamment approfondies et pertinentes dans le paradigme pour satisfaire au moins raisonnablement aux exigences de préparation à l'entrée à l'université. Ainsi les recommandations qui constituent le dispositif, même imparfaitement réalisées, permettent un guidage suffisant tout en respectant l'autonomie de la validation. Cela suggère une certaine robustesse des recommandations de design prises ensemble.

## 7.3 Résultats : Q2C Comment l'autonomie dans la validation des connaissances scientifiques est-elle développée ?

Nous avons vu que la science est une manière de valider les connaissances et que donc la validation devrait être progressivement dévolue aux élèves si l'on veut qu'ils apprennent à faire de la science.

Le dispositif étudié est fondamentalement architecturé autour de cette idée, notamment avec le refus de l'enseignant de donner des réponses obligeant les élèves à aller chercher les réponses dans des ressources, (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves), avec l'exigence de les écrire dans un espace partagé élaborant une production importante pour le groupe (ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe), puis à les défendre devant les pairs (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel). Nous avons conjecturé qu'il fallait confronter les élèves à des données de qualité variable (ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène), ancrer les apprentissages dans une production qui fait du sens pour eux et qui les oblige à sélectionner, expliciter (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage) et prévoir des opportunités de confrontation socio-cognitives (ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé), ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences

d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes ) pour développer cette validation autonome qui constitue l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves. Nous allons analyser les données qui soutiennent cette recommandation et la discuter.

Comme manifestation de l'autonomie dans la validation, nous avons observé les textes produits dans le wiki : l'existence même de textes proposés aux pairs manifeste la capacité de choix parmi l'abondance de ressources, leur qualité révèle l'opportunité des choix et des synthèses et les mesures de complexité épistémique manifestent la pertinence de ces validations au paradigme de la biologie. Etant donné que la validation par l'enseignant s'efface, les écrits en fin d'année reflètent assez bien leur capacité de validation. Nous avons cherché des traces de la justification des choix dans les textes et dans les exposés aux pairs. Nous avons établi d'abord dans quelle mesure les élèves sont devenus autonomes pour cette validation. Nous avons analysé ensuite leurs perceptions sur cette responsabilité de valider eux-mêmes à partir de leurs réponses dans les questionnaires de fin d'année et post-secondaire. Le questionnaire de fin d'année a fourni des données sur leurs perceptions du lien entre la responsabilité de cette validation et la science comme méthode de validation des connaissances. Les traces de la négociation des questions dans le wiki ont pu être mises en rapport avec la délimitation épistémologique de la discipline. Nous discuterons leur perception d'autonomie dans le *choix des questions* sur la base des réponses au questionnaire de fin d'année. Les effets des présentations sur la validation seront discutés sur la base des réponses aux questionnaires. Les interactions entre les élèves et l'enseignant lors de ces présentations seront discutées sur la base des observations en classe et des mesures (nombre de mots, de questions, complexité épistémique) sur les textes produits suite à ces présentations.

### 7.3.1 Résultats sur l'autonomie dans la validation

Le résultat le plus solide à propos de l'autonomie dans la validation est la présence dans les documents wiki de réponses – qui viennent des élèves quasi exclusivement – correctes dans le paradigme et conformes au plan d'études. En effet, les textes dans le wiki résultent de choix par les élèves parmi les nombreuses ressources, de synthèses de textes souvent difficiles et parfois de niveau académique. Nous avons vu dans la description du dispositif que la validation par l'enseignant s'estompe au cours de l'année, aussi les versions finales des textes analysés en fin d'année n'ont été corrigés par l'enseignant que pour éviter de grosses erreurs. Il n'y a que très rarement eu besoin de telles interventions. Ce résultat constitue un indice solide de l'autonomie des élèves dans la validation.

Examinons la perception des élèves sur cette dévolution de la validation. (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166))

A la question :

> **8a) Au début de l'année une question vous avait inquiété : " Comment je sais si ce que j'ai trouvé est juste ? " Qu'en pensez-vous maintenant ?**

Les résultats par année sont les suivants :

- 2010 : 16 items de réponse rassurés, 1 encore inquiet
- 2009 : 18 items de réponse rassurés, 6 encore inquiets
- 2008 : 27 items de réponse rassurés, 1 encore inquiet
- 2007 : 21 items de réponse rassurés, 8 encore inquiets
- 2006 : Moyenne des réponses 3.7 sur 6, soit à peine mieux qu'un cours traditionnel. Cette année-là, la question n'avait pas été posée dans les mêmes termes mais

> « Par rapport à un cours traditionnel : la manière dont on décide ce qui est juste ou faux : la validation des idées? Notez de 1=moins bien que, à 6 = nettement mieux que traditionnel. »

Si l'on décortique plus finement les commentaires pour les années 2008-2010, les réponses sont assez nuancées : une majorité estime que ce n'est plus un réel problème (20), par la confrontation des sources (11), la présence de l'enseignant qui garantit (11), les présentations intermédiaires (10), ou parce que la science n'est pas faite de certitudes (6), plusieurs doutent encore (14) ou souhaitent plus d'intervention dans les wikis (3), N= 39.

Ces résultats suggèrent que la plupart des élèves se sentent à même de juger de la pertinence des informations en fonction de la qualité des sources, qu'ils relativisent la vérité pour voir des degrés de vulgarisation et qu'ils savent accorder aux sources plus authentiques un plus grand crédit. L'inexact est souvent perçu comme une étape vers une connaissance plus profonde. Une minorité significative manifeste encore un désarroi de devoir assumer cette validation.

Une sélection de réponses typiques :

> Grâce au présentation, l'on sait si nos info sont justes ou fausses
>
> Personnelement je suis rassurée car la démarche que vous avez utilisé, commenter sur le wiki pui nous on retouche, a marché. Néansmoins je suis décu car dans certains wiki il y a des choses que vous aviez commenté qui étaient fausses et qui n ont pas été corrigés par la suite, ce qui rendait difficile la préparation de l'épreuve.
>
> Je me pose toujours parfois cette question, mais j'essaye d'y répoondre par moi même en cherchant certains lien en remontant à la source, si les mécanismes jouent etc...
>
> En science, surtout les expérimentales, il n'y a rien qui est 100% sûr, souvent les sujets étudiés sont tellement complexes qu'il y a toujours la possibilité à plusieurs explications, interprétations et façons de voir un problème.
>
> J'ai toujours le doute lorsque je publie des informations que j'ai trouvé sur internet. Mais j'essaye de rechercher l'information dans notre ouvrage comme vérification.
>
> Je ne peut pas toujours savoir si tout ce que je dis est juste mais je sais maintenant que la science avance constament et donc ce que nous disons maintenant en partie sera faux dans quelques années.

Le questionnaire post-secondaire apporte une confirmation de ce sentiment d'autonomie :

> Maintenant que je ne suis plus dans votre cours, je n'ai pas besoin de faire le lèche-botte. C'est ainsi que je vous répondrai en toute honnêteté que votre cours est le seul (avec l'allemand de madame XXX) qui m'aie réellement servi pour l'uni. En effet, on avait une grande autonomie/liberté dans notre travail. Je ne vais pas me faire des copains (sur le court terme), mais vous devriez encore plus les livrer à eux-même, exemple ne leur donnez plus les questions à l'avance pour leur sujet. A vrai dire, deux ans après, le cours de bio OS est le seul cours dont je me souviens précisément comment on travaillait preuve peut etre que ce cours etait plus proche de la façon de travailler à l'uni.

Les élèves apparaissent donc globalement satisfaits de leur capacité de valider leurs connaissances eux-mêmes, mais se sentent rassurés par un étayage de soutien qui s'efface. Avec les autres résultats, nous disposons d'une assez solide confirmation que le dispositif serait

efficace sur ce point, que la validation par les élèves est possible, validant l'élément ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves.

On peut interpréter ces données comme des indices confirmant les recommandations et éléments de design de distinction entre autorité de validation et autorité pédagogique (RD4), de la nature indirecte des feed-back pour soutenir la démarche de validation sans se substituer aux ressources (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, et ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité et ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène).

### 7.3.2 Résultats sur la perception de la science comme méthode de validation

Nous avions discuté, dans le cadrage théorique, que la validation des connaissances devait être dévolue aux élèves pour les faire pratiquer une des compétences fondamentales de la science. C'est un des fondements de l'élément (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves). Examinons les résultats du questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)) concernant cette perception de la science comme méthode de validation par les élèves eux-mêmes.

A la question :

> **« Que pensez-vous, maintenant, en termes d'apprendre la science du fait que le maître ne donne pas souvent "les réponses"... » de 1 à 4 selon l'échelle : Je n'aime toujours pas 1....Finalement c'est bien 4**

Année 2010 : Moyenne =2.75 écart-type $\sigma = 0.866$

Année 2009 : Moyenne = 2.7 écart-type $\sigma = 1.04$

Année 2008 : Moyenne = 2.58 écart-type $\sigma = 0.90$

Si la moyenne est plutôt à l'aise de ne pas recevoir les réponses, on voit une grande hétérogénéité des réponses.

Une observatrice (Eléonore) confirme cet inconfort en 2005 dans son bilan :

> En particuliers, il faut accepter de ne pas avoir de "texte du savoir" clair, structuré, référence absolue... Au contraire, privilégier la construction, c'est accepter d'être dans le flou, l'inconfort... A la fin d'un thème, l'élève n'aura pas tout compris, aura des questions sans réponses... Il faut qu'il sache que "c'est accepté", que "c'est normal", que "c'est prévu"... (Un peu la même idée que le statut des erreurs...dans les pédagogies actives, une erreur, ce n'est pas grave, c'est normal...)... Quand on essaye d'apprendre en "profondeur" et de construire ses connaissances, les questions sans réponses, les textes imparfaits, c'est normal. Journal d'une observatrice (Eléonore), mars 2005

Ainsi, l'inconfort des élèves découlant de la responsabilité de la validation est confirmé. Nous avons décidé – au cours des implémentations du dispositif – que les bienfaits éducatifs de la responsabilité valaient cet inconfort, qui est une forme d'étayage stimulant de l'apprentissage des connaissances scientifiques. En effet, cette validation autonome est une caractéristique fondamentale des connaissances scientifiques, nous en avons discuté dans le cadrage théorique. Il y a donc un inconfort assumé qui résulte du retrait de l'enseignant du rôle d'autorité de validation scientifique.

En effet, en 2005 une observatrice (Eléonore) mettait bien en évidence le problème :

> Sur le fait que les élèves ne prennent pas de note pendant les exposés des autres groupes. Ils ne prennent des notes que si l'enseignant fait un résumé ou une introduction... Ils ne prennent note que de ce qui leur paraît valide, le "savoir de référence... Ils ne prennent pas de note des discussions, des questions... ils ne sont pas dans le "contrat de la construction des savoirs... Journal d'une observatrice (Eléonore), mars 2005.

Les implémentations successives du dispositif ont intégré des changements importants destinés à étayer (étayage stimulant et étayage structurant) cette autonomie dans la validation : l'introduction des activités III de présentation très tôt dans l'investigation, une activité IIIb de test du contrat didactique, une gestion des feed-back visant le conflit socio-cognitif, une meilleure délimitation des rôles, notamment l'introduction d'un coordinateur par groupe d'investigation.

Voyons les données sur l'évolution des perceptions par les élèves sur la nécessité de rechercher les réponses eux-mêmes sur la base des questionnaires de fin d'année.

A la question ouverte suivante :

**3a) Que pensez-vous d'avoir du chercher vous-même les réponses ?**

Les élèves ont donné des réponses que nous avons codées en items positifs ou négatifs (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166))

2010 : 18 items de réponse positifs, 4 négatifs.

2009 : 18 items de réponse positifs, 10 négatifs.

2008 : 21 items de réponse positifs, 9 négatifs.

2007 : 12 items de réponse positifs, 9 négatifs.

2006 : 8 items de réponse positifs, 9 négatifs (dont surcroît de travail 4).

Ces résultats suggèrent qu'au cours des années, le dispositif s'est amélioré sur ce point : en effet les élèves indiquent beaucoup plus d'items positifs que négatifs en 2010 qu'en 2006.

Par contre, la perception de l'importance des questions par les élèves est confirmée par les commentaires.

Exemples de réponses représentatives :

> Il arrive parfois que l'on s'emballe dans une certaine direction qui n'est pas primordiale. Heureusement ce n'est jamais quelque chose de perdu et très vide rattrapable.
>
> Oui. De plus, c'est nous qui posons les questions maintenant, avant vous nous avez aider en nous donnant beaucoup de questions. Maintenant vous nous donnez des questions qui nous guide mais c'est vraiment à nous de décortiquer le sujet.
>
> Meilleurs qu'au début, mais peut-être pas encore toujours les bonnes...
>
> A mon avis oui. Vu qu'on doit se débrouiller seul.
>
> Les questions, nous savions déjà nous les poser mais ce cour nous permet d'apprendre à mieux y répondre nous même, en cherchant les informations y répondant.

L'importance des questions apparaît à certains qui expriment ici des considérations métacognitives remarquables :

> Mais surtout me poser des questions sur les questions que je me pose pour les améliorer, autocritique. Mais aussi on a pigé un peu la direction que doivent avoir les questions wiki après wiki après wiki apres wiki...

La conscience de l'importance des questions pour guider leur investigation apparaît donc clairement aux élèves. Cela confirme l'importance que mettait en évidence (Maulini, 2005) du fait que ce soit l'élève ou l'enseignant qui ait la responsabilité de ce choix. Nous avons distingué l'autorité qui délimite le cadre de la liberté dévolue aux élèves dans ce cadre.

### 7.3.3 **Dévolution du choix des questions et délimitation épistémique de la discipline ?**

Examinons les résultats sur la manière dont a été gérée la tension (Sandoval & Daniszewski, 2004) entre dévolution et couverture disciplinaire. Au cœur du dispositif, l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs manifeste la conjecture que pour susciter l'engagement et la motivation, il faut faire très attention de laisser du choix aux élèves, mais exprime aussi la responsabilité pédagogique de l'enseignant. En effet il délimite un cadre dans lequel ces questions sont négociées : en référence aux objectifs et au paradigme de la biologie.

Pour la temporalité, nous avons vu (Q2B) que la dévolution doit être prioritaire au début de l'année et – dans une moindre mesure – de chaque investigation, pour la motivation et l'engagement, puis qu'au fur et à mesure que la confiance dans le dispositif s'établit et la communauté d'apprentissage se met en place ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, le choix des questions peut être plus directement guidé par les objectifs et la structure des savoirs.

Un deuxième aspect est la délimitation de la discipline qu'implique le choix des questions puisqu'elles définissent le paradigme. Nous avions discuté dans le cadre théorique que le choix des questions à investiguer ou à écarter serait plus difficile à dévoluer, car le choix se fait par rapport au paradigme de la biologie et que les élèves n'auraient très vraisemblablement pas la vision d'ensemble pour juger de la pertinence d'une question à ce paradigme. Pourtant dans le processus d'investigation, les questions sont souvent reformulées par les élèves dans une sorte de négociation entre les ressources consultées, les textes et les présentations des pairs, et l'enseignant. Les élèves produisent donc de nouvelles questions mais l'enseignant reste le garant de leur adéquation. Si le dispositif dévolue bien l'évolution des questions, ce processus reste sous le contrôle de l'enseignant. Il agit par la négociation de reformulations ou de l'emplacement des questions dans la structure du document wiki (en fin de wiki dans la section Potentiels et Limites). La négociation est justifiée en rapport avec « ce qu'est la biologie ». Cette justification contribue à définir la particularité du regard disciplinaire (Astolfi, 2008) de la biologie sur le monde et à acculturer les élèves au paradigme scientifique qui est notamment défini par ses questions. Les feed-back de l'enseignant sur les questions ont joué un rôle décisif dans cette délimitation. Le seul critère d'authenticité des ressources ne suffit pas à guider l'investigation car des documents authentiques provenant de disciplines connexes pourraient conduire, par la dynamique questions – ressources et la force centripète conceptuelle, à être « aspirée » vers des concepts structurants d'autres paradigmes que celui de la biologie.

Nous allons voir comment la confrontation à des ressources authentiques et un guidage par les questions (ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs) a effectivement conduit les élèves depuis des questions pertinentes dans d'autres épistémologies que celle de la biologie (animistes, militantes, médicales, …) vers des questions en adéquation avec le paradigme de la biologie (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources).

Pour l'immunologie, le risque de dériver vers la médecine est particulièrement présent à cause des projets professionnels de plusieurs élèves ayant choisi la biologie comme *OS (option*

*spécifique)* et du milieu socioculturel de l'école concernée : de nombreux parents sont médecins et pourraient fournir des explications qui ne seraient pas vraiment dans le paradigme de la biologie.

Par exemple, une question apparue dans le wiki évoque les formes galéniques des vaccins (la manière de les appliquer en injection, par voie orale, etc.) ou les processus de fabrication de la substance vaccinante. Ce sont de très « bonnes » questions en médecine, mais peu pertinentes au paradigme de la biologie qui s'intéresse aux mécanismes de l'immunité plus qu'aux liens entre formes galéniques et effets thérapeutiques. Le feed-back de l'enseignant peut alors être l'occasion de définir les limites entre les deux disciplines. Ces questions ont parfois été déplacées dans la section « Potentiels et limites » en bas de la structure, ce qui leur attribue une place marginale, sans dévaloriser le travail de l'élève pour éviter de le démotiver. D'autres fois, elles ont été reformulées pour les intégrer au paradigme de la biologie.

Examinons comment a été géré un autre exemple : dans une page traitant du vaccin[43], la version 5 du 27 janvier 2007 à 17h29 introduit une question très précise et plutôt médicale (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)) :

> Quelles sont les deux vaccin antiviraux traditionnels?

Après un feed-back de l'enseignant signalant cette question comme trop médicale, on trouve le 31 janvier 2007 à 17h48 (Version 17) :

> Comment fabrique-t-on un vaccin ?
>
> Tout d'abord il faut savoir qu'il existe 3 sortes de vaccins différents. Les vaccins fabriqués au moyen de virrus atténuées, les vaccins contenant un virus dit tués ou inactivés et les vaccins sous-unitaire. Les premiers vaccins apparus dans le temps ont été réaliser grâce à un affaiblissement du virus auxquels on voudrais être immuniser. Les moyens sont divers on utilise par exemple: l'irradaction, une exposition à une forte chaleur ou un traitement chimique par du formol mais le but est de faire suffisemment muter les virus pour qu'il ne représente plus une très grave menace en réduissant de façon considérable sa capacité à se multiplier.

Suite à la présentation intermédiaire, vu les réactions des pairs, l'élève accepte de reformuler la question le 18 février 2007 à 11h12 (version 74) pour mieux l'intégrer au paradigme de la biologie.

> Quels sont les avantages et inconvénients des 3 grandes familles des vaccins?
>
> Les vaccins vivants traditionnels : […]
>
> Les vaccins inactivés conventionnels : […]

Les interactions de ce type permettent de clarifier les limites entre les disciplines biologie et médecine, et aident les élèves dans le choix de leurs études, confirmant la conjecture CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources et l'élément de design ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs.

[43] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Vaccins-AutresDefenses07

Il apparaît donc qu'un contrôle des questions par l'enseignant est nécessaire et possible pour maintenir l'investigation dans les limites disciplinaires, sans compromettre la dévolution des questions, confirmant la conjecture CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions. Parmi les conditions qui rendent possible cette conjecture, la règle ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes, paraît particulièrement critique.

Le questionnaire de fin d'année qui interroge les représentations des élèves sur leur autonomie dans le choix des questions traitées fournit d'autres données sur cette question.

**6) Pensez-vous savoir vous poser de meilleures questions pour apprendre ?**
**Noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle :**

**Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4**

2010 : Moyenne = 2.79 écart-type $\sigma = 0.498$ N = 12

2009 : Moyenne = 2.75 écart-type $\sigma = 1.01$ N = 13

2008 : Moyenne = 2.75 écart-type $\sigma = 0.931$ N = 16

2007[44] : items de réponse négatifs 2, mitigés 4, positifs (« oui », ou « en progrès ») 7

Synthèse : les réponses, assez hétérogènes, indiquent de manière répétée sur les années que les élèves se sentent modérément à même de se poser les bonnes questions. On peut donc parler de sentiment d'autonomie partielle sur ce point.

Etant donné la place centrale des questions dans les stratégies d'investigation, la perception qu'ont les élèves sur cette importance a été interrogée spécifiquement dans le questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7 (p. 167)) sous la forme de leurs représentations de ce qu'ils réutiliseront des stratégies apprises :

**14a) Que réutiliserez-vous dans vos apprentissages futurs ?**
**L'importance des questions ?**

2010 : Oui (7), non (2) N = 9

2009 : Oui (12), non (1), autres (1) N = 14

2008 : Oui (10), selon les sujet (3) N = 13

Synthèse : L'importance des questions est manifeste pour la très grande majorité.

Sélection de réponses typiques :

Oui, savoir cibler les questions est important

Oui peut-être, c'est un moyen d'apprentissage assez intéressant.

Non, je ne fonctionne pas trop par des questions. Malgré le fait que cela devienne des fois plus clair pour comprendre

Cibler le travail sur des questions principales tout d'abord pour ensuite aller voir dans le détail.

[44] En 2007 la question était sous forme de texte libre, pas encore de choix de type Likert.

D'ailleurs, les réponses à cette question corrèlent bien et de manière très significative (0.783 p=0.001) avec le sentiment d'autonomie dans l'investigation.

Ces résultats suggèrent que la dévolution des questions reste incomplète, qu'il n'est pas opportun qu'elle le soit complètement et que des interventions de l'enseignant sont nécessaires dans la négociation des questions Il peut agir en négociant des reformulations ou leur position dans la structure de la page afin d'éviter de déposséder les élèves des questions. Cela délimite et nuance donc les ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves et ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs. Effectivement, dévoluer – comme le suggère (Crahay, 2006 p.129) le *choix* des questions n'est pas opportun, mais négocier quelles questions approfondir plus que d'autres et justifier les choix en référence aux objectifs permet de délimiter le regard disciplinaire, le paradigme de la biologie sans déposséder les élèves de leurs questions.

L'ensemble de ces résultats sur la dévolution de la validation suggère qu'elle est perçue positivement par une majorité comme efficace pour apprendre, mais demande un effort important et reste frustrante pour d'autres. Le degré de soutien obtenu semble important comme modulateur de la perception.

Le retrait de l'enseignant du rôle de validation vers un rôle de signalisation des erreurs qui diminue au cours de l'année associé aux activités de validation par confrontation aux ressources et aux autres élèves et le guidage structurant dans l'espace d'écriture semble avoir permis le transfert progressif du rôle de validation des connaissances pour une majorité des élèves qui expriment un sentiment d'autonomie. Une des composantes de construction de ses connaissances scientifiques semble effectivement se produire mais reste difficile ou inconfortable pour plusieurs élèves. L'autonomie dans le choix des questions n'est que partiellement atteinte – ce qui correspond aux conjectures qui fondent le dispositif : l'enseignant reste garant de l'adéquation de l'investigation au paradigme de la biologie et des plans d'étude.

### 7.3.4 **Effet des présentations intermédiaires**

Une conjecture était que les présentations intermédiaires aideraient à développer et valider les connaissances CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage et ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel.

Nous avons observé que les phases de reformulation des questions et d'approfondissement épistémique se produisent après les présentations intermédiaires (cf. Figure 30 et Tableau 7). On peut interpréter cet approfondissement et ces reformulations comme le processus de résolution de conflits socio-cognitifs consécutifs à la présentation : puisqu'ils vont chercher dans diverses ressources des manières de répondre à leurs questions qui tiennent compte des objections et des incohérences découvertes à cette occasion ils pratiquent une forme – minimale – de validation par le débat avec les pairs.

Les présentations intermédiaires ont permis des interactions avec les autres qui valident de trois manières : le fait de préparer et d'exposer aux autres a permis à plusieurs élèves de prendre conscience d'erreurs et d'incohérences, les interventions d'autres élèves ont mis en évidence des erreurs ou ont confirmé les explications et les feed-back de l'enseignant ont signalé des incohérences dans l'exposé ou avec d'autres sources authentiques.

A propos des interventions dans les présentations intermédiaires, le journal des observations de l'enseignant, en date du 3 novembre 2009, relève que les interventions de l'enseignant sont centrées sur la difficulté à dépasser les descriptions de niveau animiste ou finaliste pour aller vers les explications des mécanismes. Il relève des phrases non comprises, simplement

recopiées, et des élèves pas forcément conscients que cela ne suffit pas. Les interventions ne valident en principe pas directement (les résultats sur ce point seront discutés plus bas) mais aident à délimiter les thèmes et le paradigme de la biologie.

Ont-ils conscience des effets de validation des présentations ?

Les réponses au questionnaire de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7, (p. 167)) donnent des éléments de réponse sur l'opportunité de validation des savoirs – et de ses connaissances personnelles – que représente l'exposé, surtout pour ceux qui présentent.

Les réponses à la question :

**3c) Que pensez-vous d'avoir du faire des exposés souvent ?**

Les réponses indiquent chaque année que les élèves ont conscience de l'opportunité de la validation de leurs connaissances que présente l'exposé : l'exposé est aussi vu comme un bilan de ce qu'on sait vraiment et aide à identifier les lacunes. Parmi les réponses données, celles évoquant la lucidité sur ses connaissances : (N= 12-16 selon les années)

2010 : 7 items de réponse évoquant la lucidité sur ses connaissances

2009 : 6 items de réponse évoquant la lucidité sur ses connaissances

2008 : 5 items de réponse évoquant la lucidité sur ses connaissances

2007 : 4 items de réponse évoquant la lucidité sur ses connaissances

2006 : 7 items de réponse évoquant la lucidité sur ses connaissances

C'est presque chaque année le type de réponses le plus fréquent.
Les autres réponses fréquentes sont : compétence communicationnelle développée (23), capacité de synthèse exercée (21), confrontations et partage avec les pairs et l'enseignant (13). Des difficultés ou des inconforts sont aussi souvent rapportés (20).

Réponses typiques :

> Intéressant de se confronter aux autres élèves, de leur expliquer.
>
> Ces exposés permet de nous rendre compte du travail qu il nous reste à fournir et de tous les points non expliqués qu'il comporte encore.
>
> C'est une autre manière de renforcer ce que nous avons appris. On peut voir si on a vraiment compris le sujet lorsqu'on explique nous même aux autres ce que nous avons compris. Souvent mes autres camarades pose aussi des questions juste après l'exposé que je trouve utile, car parfois il y a des questions qui ne sont pas évidentes pour nous ou auxquelles nous n'avons même pas pensé.
>
> ça confirme nos connaissances et nos lacunes, nous permet de faire un résumé, et pour moi m'a appris être plus calme et pepère devant les autres, au début je stressais trop.
>
> Les questions que nous posent les camarades nous montrent si on a été assez claire et précis ce qui nous permet d'améliorer notre façon d'expliquer et de se poser des questions.

De plus, à la question :

**8) Au début de l'année une question vous avait inquiété : "Comment je sais si ce que j'ai trouvé est juste ? " Qu'en pensez-vous maintenant ?**

Certaines réponses confirment le rôle des présentations :

> Grâce au présentation, l'on sait si nos info sont justes ou fausses
>
> Si ce que l'on a trouvé est faux, le prof nous le dis lors de notre présentation mais il pourrait le dire aussi lors d'un feedback ce qui nous éviterait de perdre du temps.
>
> C'est pas grave si c'est faux. Nous sommes ici pour apprendre et les présentations intermédiaires sont là aussi pour cela.
>
> Les présentations orales qui nous aident vraiment à faire le point

Ces réponses sont des indices sérieux que les élèves voient dans les présentations des opportunités de valider et, combinées avec l'activité dans les wikis qui suivent, ces présentations révèlent indirectement qu'ils ont pris en charge cette validation, soit individuellement soit face au groupe : sinon pourquoi voudraient-ils savoir si ce qu'ils disent ou écrivent est juste, puis aillent corriger et approfondir dans les wikis ?

On peut interpréter cela comme des indices confirmant les éléments de design que les présentations intermédiaires contribuent à la validation par les élèves, qu'elles doivent reposer explicitement sur les productions wiki et que les exposés doivent être orientés vers une amélioration des textes dans les wikis.

### 7.3.5 **Sentiment d'autonomie**

La validation autonome étant au centre de la construction des connaissances dans ce dispositif, et ces connaissances liées aux résultats scolaires (un but important pour une note importante de leurs examens finaux), on peut supposer que le sentiment d'autonomie est un facteur important de motivation, en référence au sentiment d'auto-efficacité (Bandura, 1997). Les questionnaires de fin d'année (cf. méthodologie section 5.5.7 (p, 167)) apportent des éléments de réponses à cette question.

A la question concernant l'autonomie dans le questionnaire de fin d'année :

> **9a) Vous êtes-vous sentis autonomes mais suffisamment encadrés (à la fin) ?**
>
> **1 Je me suis senti désorienté -> 4 L'autonomie me convenait bien**

2010 : Moyenne = 3.15 écart-type $\sigma = 0.55$ N = 10

2009 : Moyenne = 3.25 écart-type $\sigma = 0.56$ N = 14

2008 : Moyenne = 2.64 écart-type $\sigma = 0.89$ N = 14

Les réponses indiquent un sentiment d'autonomie encadrée plutôt favorable. On peut regretter que la question mêle deux variables supposées liées : le sentiment d'autonomie et le sentiment d'être encadré et que les libellés proposés risquent d'orienter les réponses. Les moyennes élevées autorisent cependant à prendre prudemment en compte ces résultats pour les trianguler avec d'autres.

Ce sentiment d'autonomie important peut être interprété comme un indice confirmant leur autonomie dans la validation : la validation qui leur est imposée serait maîtrisée et procurerait un sentiment d'autonomie.

> **9b) Autonomie et encadrement : Je me suis senti trop contraint 1 -> J'ai apprécié la liberté 4**

2010 : Moyenne = 2.92 écart-type $\sigma$ = 0.39 N = 10

2009 : Moyenne = 3.27 écart-type $\sigma$ = 0.60 N = 13

2008 : Moyenne = 3.08 écart-type $\sigma$ = 1.17 N = 14

Les réponses indiquent un sentiment d'autonomie encadrée plutôt favorable. Cependant on peut voir une diminution des écarts-type qui suggère une diminution des cas d'inconfort de cette responsabilité de validation.

Cette question recoupe partiellement la 9a et confirme globalement que les élèves se sont sentis autonomes. Les différences de valeurs entre les deux questions sont difficiles à interpréter.

Dans le questionnaire post-secondaire, la même question nous informe sur leurs représentations alors qu'ils sont dans leurs études académiques :

**Vous êtes-vous sentis autonomes mais suffisamment encadré-e (à la fin) ?**
**Je me suis senti désorienté-e =1 -> L'autonomie me convenait bien =4**

Les réponses obtenues (les années 2008, 2009, 2012 où cette question était posée confondue)

2006-2012 : Moyenne = 3.41 écart-type $\sigma$ = 0.69 N = 22

Les réponses indiquent un sentiment d'autonomie important et en augmentation par rapport aux réponses des élèves du secondaire.

Exemples de commentaires :

En remettant les choses en perspective, par rapport aux autres cours on avait beaucoup plus de responsabilités sans pour autant être lâchés dans le vide. C'était le meilleur avant-goût possible à l'université que l'on pouvait nous offrir au collège.

Car cette méthode de travail amène à beaucoup de questions, et on se sent souvent frustré de ne pas avoir la réponse immédiatement.

Je crois que ce cours m'a plu à cause de l'autonomie qu'on nous laissait, sans nous engueuler ou se moquer de nous quand on partait dans la mauvaise direction, je dirais donc 4

Si j'avais donne une note dans l'esprit de la fin de la 4eme j'aurai mis 3.5. Cependant, on imagine pas au college l'assistance que procure un professeur qui vous connait, qui vous donne un programme, des methodes de travail et des feedbacks en permanence. A l'uni c'est chacun se debrouille et a ses methodes. Pour revenir a la question, effectivement on beneficie d'une grande autonomie bien superieure a celle d'autres cours ordinaires, mais en comparaison a l'uni cette autonomie reste tres petite (a mon avis).

Les questions que nous avons posées ne distinguent pas suffisamment l'autonomie et l'encadrement dans les perceptions des élèves. Pourtant les élèves ont parfois fait cette distinction :

Au collège c'est difficile d'etre plus autonome que cela. Mais le cadre etait tout de meme important (surement nécessaire) en comparaison avec l'uni.

Autonome Oui 4 mais encadrer plutôt non 2

L'ensemble des réponses aux questionnaires de fin d'année et post-secondaire suggère que le dispositif procure un sentiment d'autonomie considérable, mais que les élèves sont assez sensibles à l'articulation de cette autonomie avec la nature de l'encadrement.

Les conjectures qui sous-tendent les éléments de design sont plutôt confirmées : un retrait progressif de la validation par l'enseignant, une visibilisation des connaissances dans les productions et les présentations, une manifestation concrète des effets sur les résultats de l'investissement dans le dispositif (alignement), notamment les questions comme principe organisateur et la règle de l'unicité conceptuelle des questions-réponses.

Il est cependant intéressant de mettre ces résultats à propos de sentiment de liberté en rapport avec les très grandes contraintes et exigences du dispositif dans lequel les élèves ont du beaucoup travailler, et pousser loin l'approfondissement des concepts. Ainsi, la liberté perçue n'est pas liée à l'absence de contraintes, mais probablement à la liberté dans les démarches de construction des connaissances, les choix des ressources et la formulation. On peut argumenter que la liberté, dans un cadre défini, est plus rassurante. Cette croyance a guidé la conception du dispositif.

Ces résultats, pris dans leur ensemble, confirment plutôt les éléments de design suivants : i) dissociation de l'autorité pédagogique ferme sur les délais, les échéances, la définition des exigences, et l'autorité scientifique reportée vers les ressources (ED4), ii) distinction de l'étayage plutôt stimulant dans le développement des concepts (obliger à voir les incohérences à l'intérieur des textes et avec les ressources authentiques), et un étayage plutôt structurant dans l'organisation des textes, et des exposés (ED21), iii) liberté dans les choix des ressources (ED15), iv) validation dévolue aux élèves (ED5), mais feed-back incitant vers les ressources authentiques (ED21). Soit les éléments de design suivants : ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant), ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène, ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes.

### 7.3.6 Indices de la science comme méthode de validation

Est-ce que cette validation autonome avérée est associée chez les élèves à une perception de la science comme méthode de validation ? Le questionnaire de fin d'année (il n'y a pas de questionnaire préalable pour comparer) apporte des éléments de réponse sur leur perception des méthodes de validation en science :

**8b) En science, comment fait-on pour décider ce qui est juste ?**[45]

Les réponses pour les années 2008 (4OS) et 2009 3OS et 4 OS (N = 21) indiquent une référence à l'expérimentation (11), aux ressources (ouvrages papier et on-line) (6), au maître (2), au débat entre experts (6), à la cohérence logique des savoirs (2), à l'incertitude (6) : doute personnel ou nature incertaine des savoirs scientifiques.

Pas tout est forcément juste. Il reste plusieurs zones d'ombres. Souvent il est mieux de faire des supoositions, des hypothèse.+ Mais verifier sur

[45] Le terme de « juste » – évidemment discutable dans le domaine des sciences - a été choisi parce qu'il correspond au langage courant des élèves. Rappelons que ce questionnaire a d'abord été développé dans un but pédagogique et métacognitif afin d'aider les élèves à prendre conscience de leurs conceptions et permettre des discussions sur l'épistémologie de la science.

plusieurs ouvrages, site internet nous permet d'être à peu près sûr que c'est juste.

Quand on est élève, le prof ou les livres de références sont là pour nous renseigner...lorsqu'on est chercheur je crois que selon nos suppositions et nos résultats c'est à mous de décider si ce que nous avons trouvé est plausible voire pertinent...enfin je pense que cela doit marcher comme ça et qu'on doit se référer pas mal à l'opinion des collègues.

Comme pour toute information, si on trouve 3 sources de bonne qualité (Campbell, Raven, Site d'une université par exemple) l'information est probablement valable.

Ben à la vitesse ou va la science, ce qui est aujourdh'ui juste ne le sera pas forcément demain.

La référence à l'autorité du maître reste exceptionnelle et si on peut voir que la question laissait l'ambiguïté entre la science comme pratique de référence et la science enseignée, l'image globale qui émerge est celle d'une science perçue comme validée par l'expérimentation, institutionnalisée dans des ouvrages sérieux et faisant l'objet de débats.

### 7.3.7 **Validation par la confrontation avec les autres**

Nous avions conjecturé qu'au cours de l'élaboration des savoirs dans l'espace d'écriture partagé, l'intervention de l'enseignant devrait plutôt prendre la forme de mise en évidence des contradictions internes ou de confrontation à des textes exprimant des idées différentes (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes). Nous avons étudié plus haut la manière dont le feed-back de l'enseignant peut respecter la dévolution tout en guidant vers les savoirs dans le paradigme. Cependant la forme des interventions entre élèves joue un rôle primordial puisqu'elles sont sans doute plus nombreuses et plus fréquentes. Nous avons cherché des traces de telles interactions dans les wikis et dans les journaux des observateurs (cf. méthodologie section 5.5.6, (p. 166)).

La comparaison entre la version 24 d'un document wiki et la version 26 suggère la transformation de statut (d'un simple *brouillon* à un document public) après la présentation aux pairs.

Version 24[46]

Quel est le rôle de la lumière pour une plante?

La lumière du soleil est vitale aux plantes. Privées de lumière, elles deviendraient jaunes et périraient. La photosynthèse est le processus qui permet à une plante d'utiliser la lumière pour former, à partir de gaz carbonique et d'eau, du glucose et de l'oxygène. Le glucose, comme l'oxygène, est fondamental à la vie des végétaux, des animaux et des hommes.

C'est essentiellement la chlorophylle, pigment contenu dans les chloroplastes, qui sert à l'absorption de la lumière. Dans le spectre lumineux( ensemble des longueurs d'ondes lumineuses), allant du violet au rouge, le vert et le jaune ne sont presque pas absorbés et c'est pourquoi les feuilles apparaissent vertes à nos yeux.

[46] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/FacteurLumiere?version=24

> Pour de plus amples informations sur la photosynthèse:
> http://www.ustboniface.mb.ca/cusb/abernier/Biologie/metabolisme/ps1-1.html

Version 26[47]

> Quel est le rôle de la lumière pour une plante?
>
> La lumière du soleil est vitale aux plantes. Privées de lumière, elles deviendraient jaunes et périraient. La photosynthèse est le processus qui permet à une plante d'utiliser la lumière pour former, à partir de gaz carbonique et d'eau, du glucose et de l'oxygène. Le glucose, comme l'oxygène, est fondamental à la vie des végétaux, des animaux et des hommes. C'est essentiellement la chlorophylle, pigment contenu dans les chloroplastes, qui sert à l'absorption de la lumière.
> **Lors de notre sortie du 25.IX.03, nous avons remarqué que sous les grands chêne ne poussaient presque aucuns végétaux. Dans cette situation, mis à part le fait qu'il s'agit d'un endroit protégé de la pluie et où les autres racines pompent l'eau, le facteur lumière à un rôle primordial car les plantes, alors privées de lumière par le plafond de feuilles du chênes, ne peuvent pousser sur ce lieu, devenu hostil.**
>
> Cela illustre donc le fait que le facteur lumière est un des plus importants dans la répatitions des plantes, si ce n'est le plus important.
>
> Pour de plus amples informations sur la photosynthèse:
> http://www.ustboniface.mb.ca/cusb/abernier/Biologie/metabolisme/ps1-1.html

Exemple : La mise en gras du texte justificatif est de nous. A propos de l'orthographe et de la syntaxe très imparfaite, rappelons que ce document est à ce stade un brouillon, une étape de construction de la connaissance et que nous avons discuté plus haut de la distinction entre les activités où il faut valoriser les idées des élèves et celles où les savoirs sont institutionnalisés et le langage adéquat institué.

La version 26 montre des indices de justification : le passage d'une simple affirmation des conclusions à la justification – peu étayée – en référence des observations effectuées lors d'une sortie de terrain (« Lors de notre sortie du 25.IX.03, nous avons remarqué que », puis « car les plantes, alors privées de lumière par le plafond de feuilles du chênes, ne peuvent pousser sur ce lieu, devenu hostil »)

On peut interpréter cette observation comme un indice que les élèves ont pris conscience du besoin de justifier auprès de leurs camarades lors de la présentation, ou du moins qu'ils manifestent la compétence de justifier leurs affirmations (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage). Il ne s'agit pas de connaissances pleinement scientifiques (pas d'élaboration du lien données – affirmation en relation avec les hypothèses qui fondent les mesures et discussion de ces hypothèses), mais par rapport à un savoir présenté et validé par le maître, c'est un pas modeste mais crucial dans le sens de connaissances d'épaisseur scientifique.

Les observateurs en classe ont noté la nature des interactions entre les élèves dans les activités II (rechercher des réponses, réviser, approfondir un concept) : ces observations sont discontinues et relevées à des moments très différents du projet : l'une – la plus complète – lors de la première

[47] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/FacteurLumiere?version=26

implémentation du dispositif en 2005 et d'autres plus récentes mais plus brèves, moins complètes ou avec moins de traces écrites.

Par exemple, au milieu de l'investigation, un observateur relève l'hétérogénéité et les interactions relativement limitées entre élèves.

> Les groupes montrent des manières de travailler différentes, les groupes garçons plus directs sur ordinateur, le groupe filles sur papier (classique, prendre des notes) le groupe mixte ne communique pas et ils travaillent chacun dans leur coin. Un seul groupe discute sur des stratégies de travail (immunité cellulaire). Commentaires d'un observateur, année 2010

Au cours des années, nous avons vu combien il est difficile de susciter les interactions socio-cognitives entre élèves, aussi, des indices que de telles interactions se produiraient – même modestement – sont remarquables. En effet, comme les pratiques habituelles dans l'école traditionnelle ne s'appuient que très peu sur ces interactions, nous accordons de l'importance à ce qui peut indiquer même des interactions très légères entre les élèves autour des savoirs.

Lors des présentations, un observateur relève que de telles interactions se produisent un peu :

> A partir de la moitié du cycle on peut apercevoir que les élèves font de liens entre les thématiques. Commentaires d'un observateur, année 2010.

Lors des présentations intermédiaires, les élèves interagissent de manière variée, on peut y trouver de modestes interactions entre élèves mais d'intenses interactions avec le savoir.

> Présentation finale :
>
> Le premier groupe montre une bonne assurance. Les élèves montrent une réelle confiance entre eux et l'auditoire les écoute attentivement (sauf un ou deux élèves qui préparent leur exposé d'après). Les exposants se sentent en confiance et l'auditoire aussi.
>
> Deuxième groupe : rires discrets de l'auditoire quand ils sentent que celui qui expose doute. A l'intérieur du groupe, la gêne est partagée. Une exposante reproche à une autre (« C'était ton truc ») le fait d'avoir du répondre à une question qui correspondait à la partie qu'elle aurait du assurer.
>
> Troisième groupe, même s'ils étaient plus en confiance que d'autres fois, ils continuent d'avoir une manière d'exposer très cloisonnée, ils ne s'aident pas entre eux pour clarifier (une fois seulement).
>
> Quatrième groupe : les autres écoutent très attentivement et les exposants font des références à des exposées antérieures. Commentaires d'un observateur, année 2010.

Même si le dispositif l'écarte activement, plusieurs indices montrent combien les élèves sont demandeurs de la validation par l'enseignant :

> C'est drôle : une élève prend des notes sur une page de son agenda et ensuite quand [l'enseignant] présente la chronologie de l'évolution elle prend des notes sur des feuilles de cours. Ils ne sont pas encore totalement "dedans"...pas totalement en "dévolution". Commentaires d'une observatrice, 31 janvier 2005.

Cette attente des savoirs prescrits par l'enseignant met en évidence l'importance qu'il s'abstienne de le faire pour permettre la validation par les élèves. On voit souvent, lors des présentations intermédiaires, les élèves poser leurs questions à l'enseignant : il les redirige vers les élèves qui exposent et ne répond que s'ils ne savent pas le faire (ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves), et de préférence en reformulant ou en renvoyant vers des ressources. (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes).

Un des observateurs note par exemple :

> Questions à travers l'enseignant. Peu de questions directes à celui qui expose (présentation 1=1, intermédiaire=0, finale=0)
>
> Quand ils posent une question à l'enseignant ils attendent une réponse qui pourrait être directement transcrite dans le wiki, ils sont déstabilisés par une réponse ouverte qui les incite à continuer d'explorer la question. Commentaires d'un observateur, année 2010.

On peut donc supposer que la validation par le maître est encore recherchée même si son absence est acceptée à la fin de l'année. La validation par le maître est tellement généralisée dans l'institution que ces demandes des élèves peuvent être interprétées en partie comme des habitudes. Le fait que ce refus de valider soit accepté par les élèves est en soi un résultat notable qui suggère que la responsabilité de la validation est acceptée même si elle reste un poids que les élèves cherchent à éviter. Ce changement d'attitude prend du temps pour se réaliser et confirme en cela l'élément de design ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré.

Bien que les données soient difficiles à interpréter sur ce point, le changement d'attitude observé lors de la distribution des fascicules en fin d'investigation, et les autres manifestations visibles par les élèves, qu'ils ont appris des notions complexes de biologie ainsi que les questionnaires post-secondaires, confirment l'élément de design ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis.

Nous considérons que le dispositif étant capable de produire des savoirs reconnus comme adéquats (CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage), alors que la validation par l'enseignant disparaît en cours d'année, cela confirme la capacité des élèves à assumer la responsabilité de valider leurs savoirs dans un dispositif structurant les interactions (CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions). Aussi nous pouvons étudier ce qui, dans le dispositif, a permis ce résultat.

### 7.3.8 **Synthèse des résultats à la question Q2C**

Prenons maintenant l'ensemble des résultats sur l'autonomie dans la validation issus de l'analyse de ce dispositif particulier et tentons une synthèse de portée plus large sur la question de recherche Q2C : Comment l'autonomie, dans la validation des connaissances scientifiques, est-elle développée ?

On peut interpréter ces données comme des indices corroborant que la validation par les élèves est possible dans un dispositif technopédagogique structuré de manière coopérative autour de la co-construction de connaissances, sous la responsabilité pédagogique d'un enseignant qui crée et maintient un climat favorable (notamment le sentiment de sécurité). (ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté et ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives).

Les réponses aux questionnaires confirment l'importance de l'activité IV (présentation intermédiaire) et de sa mise en œuvre assez tôt dans l'investigation. Les interactions entre les élèves et l'enseignant lors de ces présentations et les effets observés dans les textes produits peu après ces présentations confirment qu'elles contribuent à rendre possible la validation autonome mais garantie par l'enseignant. (ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel).

On peut argumenter que le développement de connaissances scientifiques n'est avéré que partiellement (ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis).

Les élèves se sentent, dans l'ensemble, capables d'assumer la responsabilité qu'implique cette autonomie mais recherchent quand même une confirmation de l'enseignant. Cette ambiguïté correspond aux responsabilités respectives dans la mesure où l'enseignant conserve la responsabilité de garant de l'adéquation aux curricula et au paradigme de la biologie (rôles 1b, 2j, 3c, 4d, 5c). Nous avons discuté plus haut combien la structure du design fonctionne comme un cadre qui permet la liberté des élèves parce qu'il incarne une part de l'autorité pédagogique, il fixe des limites. Définir un cadre, c'est laisser la liberté à l'intérieur de ce cadre, ne pas le définir, c'est conserver – ou tenter de conserver – le contrôle permanent sur l'élève (Perrenoud, 1995b).

Nos résultats sont prudemment positifs concernant leurs perceptions du lien entre la responsabilité de cette validation et la science comme méthode de validation des connaissances. La capacité de valider leurs connaissances sans référence à l'autorité scientifique du maître est un pas vers une validation argumentée au sens de (Toulmin, 1958) et constitue un indice que les connaissances ont une épaisseur métacognitive (Bromme, et al., 2008) accrue parce que les choix et les confrontations assumés devant les pairs manifestent une (modeste) *structure* qui construit leur validation. En effet, elles font référence à une source qui est extérieure à l'enseignant, parfois à la classe et qui est plus authentique dans le sens qu'elles sont plus proches des données expérimentales et qu'une forme minimale de débat les a validées. Par rapport à la définition de connaissances scientifiques élaborée dans le cadrage théorique, cela paraît assez minimal, mais par rapport à un enseignement où il n'y a absolument pas de validation, c'est un grand pas.

Comme le chapitre de l'immunologie n'offre que peu d'expérimentation, la plupart des idées débattues sont issues des ressources, mais les résultats des expériences (groupes sanguins ABO et le mécanisme sous-jacent dans l'asymétrie des risques de transfusion « donneur universel » mentionné comme exemple de trou noir de la transposition didactique) ont pris leur place dans ce processus et les investigations dans d'autres chapitres (moléculaire en automne pour les classes de 4 OS, systématique végétale traitée en 2$^{ème}$ OS en 2002) suggèrent que la démarche s'applique aux données issues de l'expérimentation directe par les élèves comme de l'*expérimentation par procuration* que sont les ressources authentiques. Nous parlons de ressources pour englober les expériences faites par les élèves et celles rapportées par d'autres. Nous avons discuté (section 3.1.7 La connaissance scientifique se construit dans le débat ? (p. 44)) que l'expérimentation ne se réduit pas aux manipulations qui permettent de produire les données mais que ce sont les réflexions entre les modèles et le référent empirique qui conduisent à faire évoluer les modèles. Le mouvement vers des ressources – un peu plus – authentiques rapproche des données et leur discussion rend le processus de validation par les élèves – un peu plus – scientifique. Aussi nous voudrions inclure l'expérimentation dans la discussion de ce dispositif.

L'usage des ressources renseigne cette question 2C : les traces de la négociation des questions dans le wiki suggèrent que l'articulation d'un feed-back de l'enseignant qui signale les incohérences avec des sources plus authentiques et la lecture de ces ressources contribuent à délimiter la biologie et à définir l'épistémologie de la discipline. Il n'est pas étonnant que les élèves restent prudents sur leur capacité à déterminer le choix des questions puisqu'ils ne peuvent pas avoir la vue d'ensemble du champ conceptuel (Rôle 1b assumé par l'enseignant). Par contre, lors de l'affinage conceptuel, on voit qu'ils assument partiellement (en particulier l'élève dans le rôle de coordinateur) la reformulation de questions et leur subdivision, indiquant une autonomie sur cet aspect de l'investigation. La distinction entre ces deux formes de pilotage des questions (global – affinage) nous paraît cruciale dans la gestion du paradoxe de la

dévolution et du pilotage de l'investigation. La structure du design fonctionne comme un cadre qui permet la liberté des élèves.

Plutôt que la qualité des questions initiales, ce sont donc surtout les mécanismes qui font converger le processus de questionnement vers les « bonnes » questions qui doivent retenir l'attention – aussi bien lors de la conception de designs que dans leur pilotage.

En termes d'ingénierie pédagogique, ces résultats contribuent à confirmer la recommandation de distinguer autorité de validation et autorité pédagogique (RD4), la nature indirecte des feed-back pour soutenir la démarche de validation sans se substituer aux ressources (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, et ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité et ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène). Les variables de climat qui ont été discutées plus haut et qui constituent des conditions sont ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, et ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives.

Globalement, une structure coopérative (même imparfaitement implémentée), un but d'amélioration partagé (même imparfaitement accepté), une autorité pédagogique affirmée – notamment dans la structure – transparente et alignée (même imparfaitement), une autorité scientifique trouvée (principalement) dans la confrontation aux ressources (un peu plus) authentiques semblent permettre la validation autonome de connaissances rigoureuses et pertinentes, d'une épaisseur scientifique significative. Cela suggère une certaine robustesse de ces recommandations de design prises ensemble.

## 7.4 Résultats : Q2D Quelles interventions de l'enseignant soutiennent et incitent à assumer les rôles permettant l'apprentissage dans les phases successives de l'investigation ?

Nous avons discuté plus haut comment les questions guident l'investigation (ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs), comment les questions se précisent et guident l'affinage conceptuel (CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme). Nous avons vu comment un dispositif peut étayer la validation scientifique des connaissances par les élèves (CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions). Nous avons discuté comment l'interaction avec les ressources peut conduire vers des connaissances pertinentes au paradigme de la biologie (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources), et comment l'enseignant peut guider tout en dévoluant les questions (ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs). Nous allons analyser comment les différents éléments du dispositif s'articulent dans le temps pour permettre aux élèves de développer l'approfondissement conceptuel. Nous chercherons en particulier comment la succession des différentes activités produit ou soutient les phases cognitives nécessaires au développement des connaissances, comment les élèves développent des stratégies pour faire face à l'abondance des ressources et comment le rapport aux citations reflète leur rapport aux savoirs (ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte).

Nous étudierons ici plus spécialement l'action de l'enseignant qui a été peu visbilisée jusque-là, parce que la visée d'autonomisation des élèves conduit à transférer la responsabilité de certains rôles de l'enseignant dans la structure et vers les élèves. Et parce que l'enseignant est lui-même

influencé par le dispositif et ce qui s'y passe : il est une variable du système, personnellement impliqué dans le fonctionnement du dispositif. La plupart du temps, son action n'a pas été traitée séparément mais comme un des individus qui assume certains rôles à certains moments. Il est évident qu'un tel dispositif n'apparaît pas spontanément et il serait naïf d'ignorer un rôle particulier de responsabilité globale : le *super rôle* d'autorité pédagogique qu'il assume implique un regard d'ensemble, la mise en place de la structuration technique (2a, 2b, 2c[48]), sociale (3b) (notamment la structure coopérative 4f), et conceptuelle (1a, 1b, 1c, 2d, 2i, 4d, 4e). Il est le garant face à l'institution (2j, 4d) et assure la supervision conceptuelle (2f, 2i, 2j) et la régulation (2i, 3b, 4b, 4e), il fixe les délais (3a, 3d), administre les évaluations (3c, 5c), régule les interactions (3b, 4f) et applique les sanctions quand c'est nécessaire. Plusieurs de ces rôles sont de la responsabilité usuelle d'un enseignant et ils ne seront pas discutés ici. Ce dispositif exige parfois des interventions dans des rôles et des attitudes inhabituels qui seront discutés à travers les éléments de design dans les autres questions de recherche. Certains rôles concernant le pilotage et la vision d'ensemble nous ont paru mériter un traitement particulier, notamment la responsabilité de piloter les phases en prescrivant des activités aux moments jugés opportuns.

Commençons par vérifier que l'investigation passe effectivement par des moments distincts que nous nommons phases et tentons de voir les liens avec la succession des activités. Cherchons quelles traces de la progression cognitive peuvent révéler le moment opportun pour les changements d'activité.

Nous avons vu que la connaissance peut résulter de l'investigation pour autant qu'un certain nombre de conditions soient réunies : l'apprenant s'est approprié une question qu'il a comprise. Il s'est fait une représentation de son rôle dans la tâche qui mobilise les processus cognitifs permettant le changement conceptuel et l'approfondissement. Il est confronté à des ressources issues du paradigme correspondant. Il en fait une synthèse dans un document qui fait du sens pour lui. L'institutionnalisation devrait permettre la stabilisation du vocabulaire, la décontextualisation et la généralisation.

Les variables que nous avons retenues pour refléter la progression conceptuelle sont la complexité épistémique et des variables intermédiaires comme le nombre de mots et le nombre de questions, qui reflètent l'ampleur de l'investigation (mots) et son étendue (questions). La pertinence de ces choix a été discutée plus haut.

On devrait pouvoir distinguer, dans l'investigation, des moments distincts d'approfondissement conceptuel :

- Dans les phases d'appropriation des questions, on devrait observer que le nombre de questions augmente, qu'elles concernent plus souvent des définitions et des descriptions avec une complexité épistémique réduite. Nous observerons la longueur des textes, le nombre de questions, la complexité épistémique.
- Dans les phases d'approfondissement, on devrait voir moins de nouvelles questions abordées mais leur reformulation et un accroissement de la longueur des réponses, conduisant progressivement à une complexité épistémique accrue. Nous examinerons la longueur des textes, le nombre de questions, la complexité épistémique.
- Dans les phases d'approfondissement, on devrait voir le recours à des ressources de plus en plus authentiques et des stratégies de recherche et de sélection de ressources efficaces pour faire face à l'abondance de ressources : l'infobésité. Nous observerons les traces des sources, les référencements dans le texte et l'usage observé des ressources en classe.

[48] Ces abréviations de rôle renvoient à la description du scénario Tableau 5 (p. 185)

- Lors des moments d'institutionnalisation, on devrait voir des interactions conduisant à la reformulation de termes, une révision pour la langue technique, la stabilisation du vocabulaire et une plus grande concision, ainsi que la décontextualisation et la généralisation. Nous examinerons la longueur des textes et le nombre de questions, ainsi que l'examen des textes produits dans quelques exemples choisis.

Nous avons étudié les liens entre la succession des activités et les variations des connaissances des élèves reflétées dans leurs productions. Nous avons cherché les liens entre ces indicateurs – que nous traitons comme des variables dans l'esprit de cette analyse exploratoire – et les actions de l'enseignant, notamment les transitions d'activités. Nous avons aussi cherché des liens avec les variables de climat.

Nous avons cherché des phases différentes dans le développement de ces « variables » telles que des vitesses d'accroissement qui varieraient, des stabilisations, des moments de changement qualitatif, nous avons tenté de les mettre en rapport avec les activités du dispositif pour établir si l'ensemble pouvait dessiner des phases mesurables en termes de ces variables intermédiaires qui seraient des indices de développement de connaissances scientifiques chez les élèves.

Les résultats présentés dans la question de recherche Q2B en 7.2.1, 7.2.2 suggèrent déjà que le nombre de questions, le nombre de mots et la complexité épistémique montrent des changements corrélés au passage d'activités III et IV.

### 7.4.1 **L'investigation montre des phases en réponse aux transitions d'activité**

Pour établir ces liens entre activités et « variables » reflétant l'activité cognitive et les apprentissages, nous regarderons d'abord comment le nombre de questions et la complexité épistémique peuvent confirmer le passage des différentes phases cognitives présumées chez les élèves. Nous discuterons leur statut d'indicateurs que l'état cognitif permettant la transition à l'activité suivante est atteint (cf. méthodologie section 5.5.5, (p. 166)).

Nous avons déjà observé, dans les graphiques de l'évolution du nombre de questions des indices, que les questions se redéfinissent suite à des moments particuliers d'intervention pédagogiques : feed-back, échéance avec note, présentation intermédiaire, évaluation notée (activités III et IV).

Nos résultats montrent - par exemple pour l'année 2007 – que ces changements de phase correspondent à des interventions pédagogiques (activités III et IV notamment) dont on peut voir les effets en comparant les paramètres principaux des productions et les moments particuliers d'intervention pédagogiques qui conduisent aux changements de phase (cf. Figure 40). Nous avons repris les figures correspondantes et y avons fait figurer les moments de ces interventions.

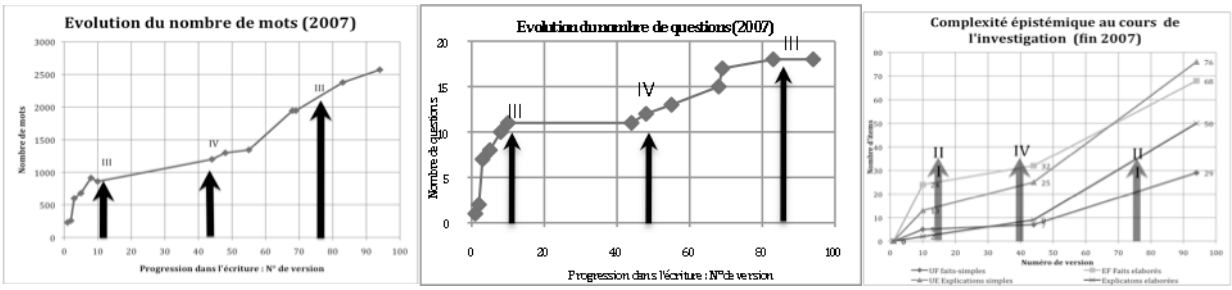



Figure 40 : Sur les figures représentant le nombre de mots, de questions et la complexité épistémique, nous avons reporté par des flèches les moments particuliers d'intervention pédagogique qui conduisent aux changements de phase : l'investigation commence le 27 janvier, le 1 février l'enseignant donne un feed-back complet noté sur la page : version 12 (Activité III), le 5 février une présentation intermédiaire (activité IV) correspond à la version 45, les élèves reportent les changements résultants. Une échéance avec note (Activité III) est annoncée pour le 5 mars (version 75).

On voit que les moments particuliers que sont les échéances (activité III et IV) déterminent l'évolution des paramètres éducatifs dans l'espace d'écriture (nombre de mots, nombre de questions et complexité épistémique). Ces observations ont été confirmées de manière répétée dans les autres implémentations du dispositif. La première intervention (activité III échéance et évaluation) marque le passage d'une phase où le nombre de questions et de mots augmente très vite mais où la complexité épistémique reste en retrait. La deuxième (activité IV présentation intermédiaire) détermine une phase de consolidation avec des questions qui s'affinent mais augmentent peu, le nombre de mots qui augmente et surtout l'augmentation de la complexité épistémique.

On peut mettre en rapport l'augmentation de la complexité épistémique et les moments de l'investigation : à la version 12 une échéance (activité III) et à la version 45 une présentation aux pairs (activité IV). La résolution temporelle de cette mesure ne permet pas de lier de manière indiscutable ces interventions pédagogiques et le développement conceptuel qui échappe à l'analyse, mais nous avons argumenté que la complexité épistémique de productions dont on est sûr que les élèves en sont les auteurs est un bon indicateur de cet approfondissement conceptuel et d'adéquation au paradigme de la biologie. Le nombre de mesures est restreint pour des raisons de choix méthodologiques mentionnés mais aussi parce que les élèves ne manifestent, dans l'écriture, leur progression conceptuelle que lorsqu'ils effectuent une révision ou un approfondissement important de leur investigation et nous argumentons ici que ce sont justement les interventions de l'enseignant qui déclenchent ces activités des élèves.

Ces données confirment l'analyse du nombre de questions et du nombre de mots pour suggérer que l'investigation passe par trois moments :

- une première phase *d'exploration* où le nombre de questions évolue très vite, les questions sont surtout de vocabulaire, de définition et de structures, la complexité épistémique y est faible
- une deuxième phase *d'approfondissement* conceptuel où la complexité épistémique augmente, les questions changent de formulation mais varient peu en nombre, l'ampleur du texte augmente
- une troisième phase *d'institutionnalisation* où les termes sont définis, la structure révisée, les doublons éliminés, le statut de la page passe d'interne au groupe d'investigation à public pour la classe.

Il n'est pas possible d'analyser avec une résolution temporelle plus fine ces productions puisque le nombre de versions significatives que les élèves produisent est limité et que l'écriture dans le

wiki ne manifeste qu'avec un décalage l'élaboration conceptuelle produite dans l'espace insondable du cerveau des élèves. En effet, les moments où les élèves écrivent sont très dépendants des interventions de l'enseignant pour déclencher cette écriture (activités III d'échéance et IV de présentation) et nous pensons que c'est justement dans le processus itératif de cette écriture abondante (ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances) que l'affinage conceptuel se produit chez les élèves. On ne peut que supposer les processus cognitifs que l'écriture étaye (*writing-to-learn* : écriture de transformation de connaissances (Bereiter & Scardamalia, 1987)), on en constate les effets lorsqu'ils se manifestent et deviennent visibles dans le wiki. L'effet stimulant des interventions de l'enseignant qui fixe des délais, fait passer à l'activité suivante semble toutefois clairement marquer la progression conceptuelle. La nécessité et l'efficacité du rôle de l'enseignant comme autorité pédagogique semble confirmée.

Ces résultats suggèrent que l'investigation conduit progressivement vers la connaissance de concepts complexes et que les explications étayées des mécanismes (la complexité épistémique de degré 4) n'apparaissent que dans la seconde ou la troisième semaine (8 à 12 périodes scolaires et beaucoup de travail à domicile). On peut l'interpréter comme ceci : la réelle compréhension des phénomènes étudiés semble se construire dans la durée et une investigation qui ne durerait que quelques heures produirait surtout des descriptions – une sorte de compilation – et ne développerait probablement pas tout son potentiel d'apprentissage. Cela confirme l'élément de design ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, et de manière plus large la conjecture CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions.

Les remarques d'observateurs en classe confirment l'existence de phases dans l'implication des élèves. Par exemple :

> Je remarque plus particulièrement dans ce cours que quelque chose se met en place. Les élèves ne restent pas à leur table, mais se déplacent pour aller utiliser les ordi, bref, il y a des élèves "un peu partout"...ils ne partent pas en pause (!)... Carnet de bord d'une observatrice, 10 janvier 2005.

D'autres observations confirment que la mise en place d'un contrat didactique aussi radicalement différent passe par un rapport de confiance qui met du temps à se construire. Cela complète et nuance l'élément de design (ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré).

La mise en parallèle de ces données dans l'espace d'écriture confirme le rôle décisif des interventions de l'autorité pédagogique dans le rôle d'évaluateur, de gestionnaire du temps, de garant des savoirs, de pilotage conceptuel et du rythme de progression, confirmant les éléments de design : ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs et ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant). De manière plus large, elles confirment le découpage des activités décrivant le dispositif et mettent en évidence l'importance des transitions entre ces activités pour stimuler les étapes de développement de l'investigation qui supporte la construction de connaissances.

### 7.4.2 **Rôle de l'enseignant dans l'évolution des questions**

Les critères déterminant le moment de ces transitions sont des paramètres importants du guidage de l'investigation, ils sont naturellement de la responsabilité de l'enseignant : rôle 3a Responsable des échéances. On voit qu'une part de l'autorité pédagogique se manifeste dans la structure du dispositif.

Dans la description du dispositif (section 6.1.4 (p. 185)) nous avons présenté les conditions de transition de l'activité I (susciter des questions) vers II (approfondir les questions). Nous y avions discuté que l'activité I doit être pilotée de manière à susciter la dévolution des questions, à en faire apparaître un grand nombre et doit être poursuivie jusqu'à ce que les élèves soient bien impliqués dans leurs questions. Nous avions vu que la qualité des questions (adéquation aux paradigmes de recherche ou scolaires) n'est pas critique. Plus que l'exhaustivité de la liste des questions, c'est à ce stade principalement l'investissement par les élèves des questions qui est déterminant. La frontière entre cette activité et la suivante est en général assez floue et les élèves ne perçoivent pas forcément cette transition qui est principalement du ressort de l'enseignant.

En reprenant les résultats sur la force centripète conceptuelle qui guide vers les questions importantes dans le paradigme (section 4.2.4 (p. 66)) sous-section *Les ressources déterminent l'épistémologie et constituent une force centripète*). On a ici aussi une forme de transfert du contrôle de l'enseignant dans la structure qui manifeste la distinction autorité pédagogique et scientifique.

Cependant cette phase doit être pilotée pour faire apparaître des questions non pas parfaitement formulées – c'est impossible à ce stade de la conceptualisation des élèves – mais couvrant suffisamment l'ensemble du champ conceptuel attribué à ce groupe. L'analyse d'un cas typique peut illustrer ce point. C'est un cas d'étayage stimulant : obliger à voir ce qui bouscule les conceptions (Reiser, 2004).

Nous avons discuté les effets de l'élément de design ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes et la force centripète des concepts structurants (CJ2), et en avons mis en évidence les effets sur les élèves, sans vraiment discuter les interventions de l'enseignant. Dans la description du dispositif, nous avons défini un rôle qui est de faire respecter cette règle, endossé par l'enseignant dans le rôle plus général d'autorité pédagogique. Nous allons explorer les modalités de ces interventions pour tenter de les lier aux variables éducatives mesurées pour discuter les conjectures à propos de cette règle et sur les manières dont l'autorité éducative s'exprime.

C'est lors des feed-back dans le texte, lors de présentations intermédiaires et lors des activités de recherche en classe que l'intervention de l'enseignant permet la délimitation des questions et finalement le guidage de l'investigation dont il est le garant pour assurer la couverture du programme, l'adhésion aux programmes.

Nous allons étudier l'exemple d'une intervention (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes) visant à obliger un groupe d'élèves à explorer les questions complexes des mécanismes qui sous-tendent la production spécifique d'anticorps à un antigène. Durant l'année 2009, en version 21 (le 22 janvier c'est-à-dire 3 jours après le début de l'investigation), les questions produites par les élèves restent descriptives et n'ont pas vraiment exploré un aspect central du champ conceptuel : les interactions entre lymphocytes qui déclenchent la production forte d'anticorps en cas d'infection.

L'enseignant intervient en soulignant l'importance de ce champ (en italique) et ajoute une sous-question qu'il considère comme féconde (qui devrait obliger les élèves à investir cette zone aveugle du champ conceptuel) :

| |
|---|
| Qu'est-ce les lymphocytes B ?<br><br>*ici commence la partie plus fonction et mécanisme ... elle est le centre...* |

> Comment le "bon" lymphocyte se met-il à produire les Ac correspondant à un Ag ... [49]

Dans les activités de recherche ultérieures, la présence de cette question a effectivement conduit les élèves de ce groupe à investiguer ces interactions entre lymphocytes de manière satisfaisante comme on peut le voir dans la suite de cet exemple qui est développé plus haut. Ainsi, malgré une réticence certaine à explorer des savoirs difficiles, ces élèves n'ont pas pu éviter l'effort d'approfondir ce mécanisme crucial. Cet exemple confirme le rôle crucial des questions pour guider l'investigation (ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs) ainsi que les modalités de cette intervention (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes).

On voit que l'enseignant, par une surveillance et une négociation des questions, guide effectivement l'investigation, confirmant la conjecture CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions.

Confirmons par un exemple l'élément de design sur les formes d'intervention de l'enseignant : mise en évidence des contradictions ou confrontation à des textes exprimant des idées différentes (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes).

Par exemple, la version 50 (3 mars 2008 à 13h23) d'un document wiki sur l'immunité cellulaire reste dans une visée finaliste et n'explicite pas suffisamment les mécanismes sous-jacents de la reconnaissance d'une cellule infectée par un virus, l'enseignant met en évidence la nécessité d'une explication et suggère une piste :

> […]Les lymphocytes T ne peuvent reconnaître un antigène que s'il est présenté par une cellule APC (il s'agit soir de lymphocytes B soit de macrophage, soit de ce cell dendritiques) et les lymphocytes reconnaîtra ensuite la menace en "lisant" grâce à leur TCR les protéines présentes sur la paroi du macrophage. Une fois le 'problème identifié *il faut expliquer comment la présence dans la cellule d'un virus ou le développement cancéreux est détecté : Ag exprimés à la surface...*, le lymphocyte va sécréter *se multiplier ?* des lymphocytes Helper et des lymphocytes suppresseurs qui vont respectivement déclencher une cascade de réactions immunitaires et éviter que le système ne dégénère et ne s'en prenne à ses propres cellules. [50]

En italique le commentaire de l'enseignant.

Plus tard (version 60 le 5 mars 2008 à 14h48), les élèves ont ajouté une question spécifique à ce concept et développé ce mécanisme.

> Comment font les lymphocytes T4 pour reconnaître les cellules à détruire? Les cellules défectueuses expriment un antigène spécifique que les lymphocytes pourront identifier. Il faut, avant tout, qu'un macrophage ou c. dendritique scinde la cellule et dispose les épitopes sur sa membrane pour les présenter aux lymphocytes Ta. Ceux qui ont leurs récepteurs membranaires (TCR) qui correspond à l'épitope, et ont pu vérifier l'appartenance du macrophage au corps grâce à ses CMH I seront activés.

[49] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmunHumor09?version=21
[50] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmuniteCell08?version=50

> Chaque lymphocyte Ta possède une reconnaissance spécifique d'épitope (un seul lymphocyte pourra reconnaître une seule sorte d'épitope)[51].

Cet exemple illustre comment l'intervention de l'enseignant sur la question et non la réponse (ED16), négociée (ED21), respectant la territorialité (ED22), peut conduire l'investigation de ce groupe vers un concept crucial (les interactions T4-B pour stimuler la production d'anticorps). L'enseignant incite à ouvrir la question vers une zone d'ombre – pour assurer la colonisation de cette partie du champ conceptuel, parce qu'il sait que cette question encore peu aboutie conduit l'investigation à affronter des ressources plus authentiques qui conduisent progressivement vers les « bonnes questions ». Une sorte de croissance des questions est dirigée par les concepts structurants : nous emploierons la métaphore d'une colonisation qui s'étend par l'effet centripète conceptuel.

Un observateur relève le rôle très actif de l'enseignant, mais aussi la confiance que les élèves lui accordent sur ce guidage dans la délimitation du champ d'investigation :

> Sur la délimitation du sujet : « j'ai de la peine ». C'est l'unique expression explicite sur la difficulté de délimiter le sujet. Je n'ai pas senti que c'étaient les élèves qui délimitaient le sujet d'eux-mêmes : Le rôle de l'enseignant est fondamental, ils se fient à ses orientations quand à la délimitation et quand aux aspects qu'il faut continuer d'observer. Journal d'observation (Albert), mars 2010.

Ces données confirment la conjecture que les questions guident effectivement la construction de connaissances (ED16), que la manifestation de l'autorité pédagogique dans le guidage peut maintenir la dévolution sans renoncer au guidage (CJ3).

Rappelons ici que l'affinage des questions par les élèves confrontés à des ressources authentiques n'exclut pas le pilotage conceptuel par l'enseignant à travers la négociation des questions qui sont investiguées (global). Nous avons discuté ce point un peu plus précisément avec la distinction entre deux formes de pilotage des questions (global – affinage) dans la question Q2C.

Nous pouvons proposer une recommandation de design : plus que l'exhaustivité ou la qualité des questions, l'enseignant doit intervenir pour que des questions peuplent les zones d'ombre conceptuelle, qu'une question au moins colonise chaque secteur important du champ conceptuel. L'effet centripète peut assurer que des questions mal posées se développent vers les bonnes questions du paradigme. Nous verrons que cela conduit à la RD14.

Pour la transition de l'activité IV vers l'activité V, les résultats déjà discutés montrent bien que cette activité conduit à des changements constatés dans le wiki : reformulation des questions, sursaut de l'intensité d'écriture, accroissement de la complexité épistémique (cf. Figure 40). Des traces de formalisation dans la rédaction qui passe d'un statut de privé à public ont été discutées dans la section 7.3.7 (p. 289).

L'accroissement de la complexité épistémique en particulier révèle un approfondissement des savoirs en termes de mécanismes sous-jacents, c'est-à-dire une adéquation au paradigme de la biologie. Cela confirme l'importance de cette transition vers l'activité V pour faire aboutir l'apprentissage. Les observations de l'enseignant suggèrent que la cohérence des termes et leur formulation rigoureuse s'accroît dans cette phase. L'activité III du deuxième cycle d'investigation prend un sens légèrement différent parce que l'examen qui clôt le semestre est proche et la redéfinition des questions vise plutôt l'aboutissement, l'institutionnalisation dans une posture de consolidation des savoirs dans le wiki pour permettre l'apprentissage final des

[51] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/ImmuniteCell08?version=60

connaissances (individuel) en vue de l'examen. Dans le premier cycle, il visait plutôt la définition des concepts de base et des champs à explorer dans une posture de rebondissement pour permettre l'approfondissement ciblé.

Nous interprétons donc ces résultats comme confirmant que l'approche d'une évaluation notée III, IV, de la publication de la brochure (V) produisent des effets d'institutionnalisation des savoirs (la stabilisation du vocabulaire). D'autres effets attendus comme la décontextualisation et la généralisation n'ont pas été confirmés faute de données si ce n'est celles très lointaines que sont la capacité à réussir des examens où les connaissances sont testées dans des contextes un peu différents et leur généralisation partiellement nécessaire pour réussir.

Explorons maintenant la question du moment où cette activité est déclenchée : la montée de la complexité épistémique est une condition avant cette montée, il est prématuré de lancer l'institutionnalisation et l'examen qui clôt l'investigation. Dans le dispositif étudié, deux cycles d'investigation ont pu être réalisés (activités II, III, IV, II, III, IV, V) sur environ 3 semaines à 2x2h. de temps scolaire (un mois compte tenu de vacances et d'autres heures perdues). L'investigation n'est alors pas achevée mais interrompue. Les élèves ont souvent manifesté un mélange de frustration de ne pas aller plus loin, et de soulagement de cesser un effort important. L'expérience suggère donc que l'investigation dans ce dispositif est ouverte et pourrait sans doute continuer indéfiniment. Aussi la transition vers les activités IV et V permettant l'institutionnalisation doit être déterminée par les limites de temps que le programme scolaire laisse.

La responsabilité pédagogique de l'enseignant, ainsi que son contrôle ultime sur l'activité sont confirmés malgré la tension avec la dévolution des questions discutée en section 7.2 (p. 245) et son retrait de l'autorité scientifique au profit des ressources discuté en section 7.3 (p. 276). Son contrôle est manifesté dans les nombreux rôles qu'il assume : notons en particulier 1b Organisateur conceptuel, 2i Garant de l'adéquation du texte aux consignes et 2j De l'adéquation conceptuelle aux paradigmes de recherche et scolaires, 3a Responsable des échéances, 3d Gestionnaire du rythme de progression, 4d Garant de l'exactitude par rapport paradigme scientifique, 4e Pilotage conceptuel, 4f Pilotage relationnel 5c Responsable de l'évaluation certificative (cf. Tableau 5). Ces responsabilités confirment que l'investigation dans un dispositif IBL n'est pas du tout laisser-aller, que l'autorité pédagogique doit être fermement établie sur les principaux leviers de gestion qui sont les échéances, les présentations, les évaluations.

Ces résultats confirment aussi l'approche du pilotage cognitiviste : l'organisation des contenus et la préparation à l'imprévu géré en fonction d'objectifs cognitifs. C'est-à-dire une planification qui mène :

> … L'enseignant à modifier ses préparations, à abandonner la préparation centrée sur le contenu et les activités pour adopter une préparation plus pédagogique qui prenne en compte les interactions des élèves, leurs spécificités et aboutisse à un processus-enseigner dans lequel l'apprenant est partie prenante. (Altet, 1993 p. 88)

C'est la progression conceptuelle qui est planifiée en fonction du temps plutôt qu'une rigide succession de tâches en fonction du temps.

C'est aussi ce que défendent certains en didactique des sciences :

> *This is a view of teaching that is more flexible with respect to pace and substance, but it is also more dependent on teacher awareness and judgment. Presuming uncertainty, the teacher does not expect students to arrive at given insights at given moments; rather, it is the teacher's responsibility to recognize when and if they arrive at those insights or others, to discover their progress, and diagnose their difficulties.* (Hammer, 1997 p. 514)

Elle nécessite cependant des indicateurs du cheminement conceptuel des élèves que l'enseignant doit repérer.

### 7.4.3 **Synthèse des résultats à la question Q2D**

De manière plus globale, l'ensemble de ces résultats confirment que le renoncement de l'enseignant à l'autorité de validation scientifique ne menace pas la qualité des connaissances des élèves mais peut l'accroître dans le sens de l'épaisseur scientifique s'il garantit cependant l'adéquation au paradigme, ce que nous considérons être du ressort de l'autorité pédagogique.

Le contrôle des questions est au cœur de cette distinction : il doit susciter et maintenir la responsabilité des élèves sur leurs questions, mais surveiller leur évolution et les négocier en rapport explicite avec les objectifs partagés et une évaluation alignée, il doit aussi intervenir pour susciter des questions qui colonisent un champ conceptuel qui serait resté vierge.

Il faut souligner que ce dispositif fait assumer de nombreuses responsabilités inhabituelles à l'enseignant. La gestion de la structure coopérative (ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives), une croyance en la capacité de production de connaissance des élèves (ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables) et le feed-back indirect (ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes) correspondent à des postures peu habituelles de l'enseignant. Elles découlent tout naturellement d'une conception socio-constructiviste de l'apprentissage, mais ne paraissent pas souvent assumées dans les pratiques enseignantes du secondaire genevois. Ce projet apporte des éléments de preuve qu'une telle posture socio-constructiviste peut conduire à un dispositif produisant chez les élèves des connaissances approfondies en biologie dans les mêmes contraintes temporelles et organisationnelles avec une approche de ce type.

Parmi les rôles de l'enseignant, plusieurs (notamment 1b Organisateur conceptuel, 2j Garant de l'adéquation conceptuelle aux paradigmes de recherche et scolaires, 4e Pilotage conceptuel) demandent une excellente vision d'ensemble des champs conceptuels à étudier et de leur découpage pour permettre d'accompagner des cheminements variés vers les concepts structurants. Il faut aussi prévoir des indicateurs du cheminement conceptuel des élèves que l'enseignant doit repérer pour prendre les décisions pédagogiques. La gestion de la progression dans l'investigation nécessite aussi (2c gestionnaire de ressources bibliographiques et iconographiques, 2d *broker* de ressources, documentaliste, etc.) un très large répertoire de ressources (près 4000 images et plus de 1000 articles) permettant de susciter les questions des élèves, leur permettant de trouver des réponses à des niveaux de formulation différents au cours de la progression conceptuelle. La conception et la gestion d'un système informatique de stockage et d'accès à ces données sous-tend l'activité et doit être assumée par l'enseignant.

De manière plus générale, le rôle de l'enseignant est fortement transformé pour permettre l'investigation IBL (Inquiry Based Learning) comme nous l'avons défini ici. Le développement de l'ensemble de ces compétences et le changement de posture prend du temps et ne peut pas être attendu d'un enseignant débutant (Crawford, 1999). Il n'est probablement pas souhaité par une majorité d'enseignants. La conceptualisation et les recommandations que nous proposons pourraient aider à comprendre, piloter ou concevoir d'autres dispositifs seront discutés dans la conclusion.

Nos résultats confirment plutôt solidement qu'une posture d'autorité pédagogique sur le fonctionnement du dispositif (ED4), notamment la mise en place même partielle de la structure coopérative (ED3), un pilotage par les questions négociées (ED16), un dispositif encourageant le

conflit socio-cognitif et l'argumentation scientifique (CJ5, ED11, 12, 13, 14) (même imparfaitement) et un but d'amélioration des connaissances (imparfaitement) partagé (ED2) rendent possible une investigation approfondie dans le paradigme de la biologie (CJ2 CJ3). Cela suggère une certaine robustesse des recommandations de design prises ensemble.

## 7.5 Résultats Q2E : Comment les ressources sont-elles utilisées pour développer l'approfondissement conceptuel ?

### 7.5.1 Les élèves développent-ils des stratégies de sélection de ressources ?

Nous avons défini la science comme une manière de valider les connaissances, basée sur la l'argumentation des liens entre les données et les affirmations en référence aux hypothèses et modèles, il en découle que la nature des ressources que les élèves rencontrent et leur authenticité sont des paramètres importants des milieux auxquels les élèves sont confrontés pour apprendre. Nous avons conjecturé que les élèves devraient être confrontés à des ressources (expériences réalisées eux-mêmes ou rapportées, discussions et interprétation des données, etc.) aussi authentiques[52] que possible : (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources). Nous avons aussi conjecturé que les connaissances sont validées et acquièrent une épaisseur scientifique par la confrontation d'idées intra personnelle, interpersonnelle dans des conflits sociocognitifs dont la régulation doit rester épistémique. Cela détermine la conjecture CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage, et ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel, notamment lors des présentations (activité III). Cela détermine les éléments de design ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe, mais aussi la nature des feedback de l'enseignant lors des présentations (activité III), dans les textes : ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes.

La question cruciale des critères selon lesquels les informations sont sélectionnées et donc comment l'investigation est focalisée sur les questions du paradigme et du curriculum a été discutée dans la question Q2A. Nous avons déjà discuté le rôle crucial de l'élément de design ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, et nous allons ici discuter plus spécialement les effets de l'hétérogénéité et la surabondance des ressources. En effet, la validation n'a pas de sens dans un milieu où le maître a prescrit uniquement des ressources de qualité, comme c'est généralement le cas. La pratique de textes de qualité très variée aussi bien dans les ressources utilisées pour l'investigation que dans les textes produits en classe pour préparer les examens pourrait développer une compétence cruciale pour la connaissance scientifique et l'intelligence informationnelle (Rouet, 2006) : prendre en compte l'auteur pour juger la validité d'une information, une compétence de validation scientifique. En effet, pour que les élèves développent des connaissances scientifiques, c'est-à-dire pour qu'ils sélectionnent et valident scientifiquement les informations disponibles, il est indispensable que la qualité des ressources disponibles soit incertaine : ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène. ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte.

---

[52] Rappelons que l'authenticité est ici définie en rapport avec le paradigme de la biologie et que plus la proximité des ressources avec les données expérimentales est grande plus nous parlons de documents authentiques.

Le contexte de surabondance d'informations – l'infobésité – qui est le point de départ de notre recherche impose la nécessité de développer des stratégies pour faire face à l'abondance des ressources. Pour certains (Rouet, 2006), prendre en compte les indices sémantiques profonds comme l'auteur plutôt que les indices de surface comme le libellé des titres différencie justement experts et néophytes. Nous allons présenter les résultats concernant les stratégies de sélection des ressources pertinentes au paradigme et les indices de conscience des sources. Cette forme d'expertise est une compétence que l'école développe très peu habituellement. Elle s'inscrit dans une visée plus large de rendre les élèves autonomes pour la validation de leurs connaissances. Comme le choix d'une information suppose une connaissance permettant de décider de son adéquation au paradigme, nous avions conjecturé que ce choix de ressources et un feed-back sur la pertinence et l'adéquation au paradigme dans les commentaires et les évaluations notées développeraient progressivement des stratégies de sélection de ressources chez les élèves (CJ1) et une connaissance au moins implicite du paradigme de la biologie. Ce sont donc les indices de stratégies de recherche adaptées mais aussi des indices de capacité à repérer l'adéquation au paradigme chez l'élève ou dans les interactions avec l'enseignant que nous avons cherchés.

Les données concernant le développement de stratégies de sélection de ressources proviennent d'abord des productions dans le wiki : dans la mesure où l'expert a estimé ces productions adéquates dans le paradigme de la biologie et que les élèves n'ont pas été contraints quant au choix, c'est forcément qu'ils ont sélectionné des ressources pertinentes dans l'énorme masse d'informations de qualité et de pertinence très variable qu'internet recèle. On sait combien ce qu'une recherche naïve révèle est rarement pertinent pour former des connaissances scientifiques. La capacité du dispositif de mener les élèves à de *bons* choix dans le paradigme est donc confirmée sur un échantillonnage arbitraire et pour 4 implémentations du dispositif. L'examen des autres productions renforce l'interprétation que le dispositif conduit effectivement les groupes d'élèves à sélectionner efficacement les ressources, confirmant l'élément de design ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène.

Nous avons ensuite observé les indices que les élèves ont conscience d'avoir développé des stratégies de recherche efficaces.

Le questionnaire de fin d'année donne des éléments de réponse : les élèves ont été interrogés sur leurs choix de ressources pour des questions complexes en biologie.

**17a) Quand j'ai une question complexe en biologie je vais chercherdes ouvrages académiques on-line comme le Janeway, ... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 jamais ...**

Les résultats sont :

Année 2010 : Moyenne = 2.6 écart-type $\sigma = 0.75$ N = 8

Année 2009 : Moyenne = 2.3 écart-type $\sigma = 0.93$ N = 15

Ces données suggèrent que même des ouvrages académiques (en anglais) sont utilisés pour investiguer les questions complexes par de nombreux élèves. D'autres indices suggèrent que c'est ponctuellement et lorsque l'ouvrage prescrit (Campbell, Raven, selon les années) ne suffit plus.

**17b) Quand j'ai une question complexe en biologie je vais chercher dans un ouvrage de référence général comme le Campbell, ... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 jamais ... 4toujours**

Les résultats sont :

Année 2010 : Moyenne = 3.2 écart-type $\sigma = 0.65$

Année 2009 : Moyenne = 3.8 écart-type $\sigma = 0.43$

Les ouvrages de référence prescrits pour ces classes (Campbell, Raven, selon les années) sont devenus, en fin d'année, le choix préférentiel de la majorité des élèves pour des questions complexes.

Une source incontournable est apparue depuis le début de ce projet : Wikipedia. Parce qu'elle est controversée mais très utilisée, parce que le niveau des réponses trouvées y correspond à peu près au milieu de l'investigation, que cette source est donc suffisante au début et insuffisante à la fin, nous avons inclus une sous-question pour interroger son usage.

**17c) Quand j'ai une question complexe en biologie je vais chercher dans Wikipedia, ... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 jamais ... 4toujours**

Sélection de réponses typiques :

Plus jamais ^^

Pour avoir une idée, mais pas pour des questions approfondies.

"Wikipédia a été largement délaissé au profit de "pavés"peut-ètre plus compliqués a aborder mais largement plus riches au niveau de l'information ( comme le Campbell ou le Janeway)"

Année 2010 : Moyenne = 2.6 écart-type $\sigma = 1.05$

Année 2009 : Moyenne = 2.73 écart-type $\sigma = 0.0957$

Wikipedia est utilisé pour les questions complexes de manière diverse mais limitée.

**17d) Quand j'ai une question complexe en biologie je vais chercher dans d'autres sources ....**

Année 2010 : Moyenne = 2.18 écart-type σ = 0.997

Année 2009 : Moyenne =2.5 écart-type σ = 0.979

D'autres ressources sont peu utilisées pour les questions complexes, les élèves se réfèrent donc principalement à celles mentionnées plus haut.

En somme, les ouvrages académiques on-line en anglais sont en moyenne assez utilisés, mais les ouvrages de référence généraux restent la principale source d'informations, alors que progressivement l'encyclopédie on-line Wikipédia est moins utilisée et limitée à une première information.

En général on note en début d'année une réticence marquée à l'usage des ouvrages volumineux (même disponibles et prescrits donc aisément accessibles), avec un recours assez systématique aux moteurs de recherche avec des requêtes simples comme l'énoncé de la question d'investigation. Aussi ces résultats suggérant une différenciation des sources, indiquant un choix prioritaire pour les ouvrages volumineux et authentiques (dans le paradigme) peut être interprété comme le développement de stratégies de sélection chez les élèves.

L'enseignant note par exemple dans son journal mardi 3 novembre 2009 que « Le Raven commence à être insuffisant. [Il dirige les élèves] Vers le Alberts en classe [papier, en français] (réticence à l'usage du Alberts online en anglais) ». (Raven, et al., 2007) est un ouvrage de référence pour la biologie niveau secondaire prescrit à ces élèves, (B Alberts, et al., 2002) est un ouvrage de biologie moléculaire de la cellule de niveau académique.

Ces données suggèrent que même des ouvrages académiques (en anglais parfois) sont utilisés pour investiguer les questions complexes par de nombreux élèves. Rappelons que cela ne signifie nullement que ces élèves auraient lu ou compris de manière exhaustive ces ouvrages, mais qu'ils ont été capables d'y trouver des réponses à des questions précises pour lesquelles les ouvrages habituellement proposés au secondaire ne donnent pas de réponse, confirmant la capacité de ce dispositif à étayer l'investigation des élèves vers une réponse même conceptuellement complexe. Par ailleurs, ce sont ici des indices confirmant l'existence de stratégies de sélection de ressources car on ne tombe pas par hasard sur ces ressources, ni avec des recherches naïves.

Une recherche en similitude qui pourrait confirmer l'emploi des ressources académiques a été entreprise avec le détecteur de plagiat utilisé à l'université de Genève sans réussir à mettre en évidence même les textes connus comme issus de cette source. Ces sites sont probablement exclus des moteurs de recherche habituels : il faut connaître le site de Bookshelf qui héberge ces ouvrages et utiliser le moteur de recherche interne. L'examen des pages montre pourtant clairement le recours à ces ouvrages, dans l'iconographie en particulier pour les images décrivant les mécanismes centraux de l'immunologie. Nous considérons donc que ces ouvrages ont été bien utilisés sans pouvoir l'étayer indiscutablement. Cependant nous estimons que ces résultats confirment de manière substantielle (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources), et indiquent comment l'enseignant peut guider tout en laissant la responsabilité des questions aux élèves.

### 7.5.2 La citation des sources révèle-t-elle une épaisseur métacognitive ?

Nous avions conjecturé l'importance d'exposer les élèves à une culture de citation pour développer certaines dimensions de l'épaisseur métacognitive des connaissances (Bromme, et al., 2008) et qu'une pratique de la production de textes et de recherche de documents qui mettent

les élèves en position d'auteur pourrait développer leur pratique de la citation (ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte).

Or dans les productions analysées, les élèves ne citent pas toujours explicitement leurs sources, ce qui aurait facilité l'analyse et permis de mesurer une dimension de l'épaisseur scientifique de leurs connaissances.

Nous avons discuté plus haut le fait que les élèves sont peu exposés à une culture de la citation dans le secondaire. Aussi les attentes sur la pratique de la citation par les élèves ont été modérées afin de focaliser les efforts de progression sur d'autres dimensions. Nous avions la perception que la limite de l'effort qu'on pouvait obtenir des élèves était proche.

Les rares citations révèlent une certaine maladresse sur les manières de citer. Un exemple en 2007 :

> Comme le cite le Campbell : "L'immunotaxine, complexe anticorps-toxines, agit comme une "tête chercheuse" en trouvant et en détruisant, de manière sélective, les cellules cancéreuses."[53]

La sensibilité aux citations dans les écoles du secondaire supérieur genevois s'est accrue au cours du projet avec les travaux de maturité (petit mémoire final) et quelques cas très médiatisés de plagiat. Si la manière de citer reste une compétence mal acquise et souvent perçue de manière paradoxale comme une dévalorisation du document produit, la conscience du plagiat est accrue, spécifiquement pour ce travail de maturité. Dans les travaux courants, la pratique de la citation nous semble rester exceptionnelle et les résultats du dispositif reflètent bien cette situation. Nous avions cependant supposé que le statut d'auteur modifierait leur rapport à l'auteur des ressources utilisées (ED23).

De fait, certaines pages mentionnent des sources, mais ce sont plutôt des exceptions et des références générales ajoutées à la dernière version (référence *alibi)*. Par exemple dans une page sur la synapse de 2009 [54].

> Voir notamment Purves, Dale. et al.,(2006). Neuroscience, Sinauer Associates, Inc.; c2001 et Dubuc, Bruno.(2008), Le cerveau à tous les niveaux. Mc Gill
>
> En dessous de ces lobes, il y a différentes zones très importantes: le corps calleux, le thalamus, l'hypothalamus, L'hypophyse, le bulbe rachidien, le pont, et le cervelet.(cf. Raven p.957 )
>
> Le cervelet se situe a l'arrière du cerveau et sur le bulbe rachidien. '' (cf. Raven p.956-958 )

Toutes les pages contiennent des références à des sources mais ce sont en général des indications introduites dès le départ par l'enseignant dans le canevas qui compose le fond de page :

> - Bibliographie :
> - Raven, P. H., Johnson, G. B., Losos, J. B., & Singer, S. R. (2007). Biologie. Bruxelles: de Boeck.
> - Campbell,Neil A. Reece Jane, 2004, Biologie, 2ème ed. de Boeck

[53] http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/AnticorpsMonoclonaux mars 2007

[54]

- Purves, Dale. et al.,(2001). Neuroscience, Sinauer Associates, Inc.; c2001

Opérons maintenant un déplacement du niveau de l'analyse pour considérer les flux de connaissances dans le dispositif depuis les productions wiki plutôt que ceux entrant depuis les ressources externes et reprenons l'élément de design ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte.

Nous avions supposé que la conscience des sources pour des textes produits par les pairs serait claire et prise en compte dans la crédibilité accordée aux textes dans le wiki et voyons si cela confirme l'élément de design ED23. Si les élèves construisent leurs connaissances dans l'interaction avec les productions wiki – ce que de nombreuses observations en classe et le but déclaré de ce document suggèrent – la question de la source des savoirs dans le wiki devient pour les élèves : « quel élève a pondu ce texte et dans quelle mesure est-ce que je peux lui faire confiance ? ». Se poser cette question serait alors un exercice permanent de validation en référence aux sources, à leur qualité, justement la construction d'une épaisseur métacognitive déterminant des connaissances scientifiques. Nous avons cependant peu d'indices de cette pratique, probablement parce que l'expliciter serait perçu comme une sorte de délation entre élèves. Certains ont indiqué qu'ils n'étaient pas très sûrs de ce qui est inscrit dans le wiki, qu'ils vérifiaient avant d'apprendre, mais sans explicitement se référer à l'élève qui est auteur de ces textes. On peut noter ici que nous avions renoncé à une signature de chaque fragment de texte pour maintenir la régulation des conflits cognitifs au niveau épistémique tout en assurant la responsabilité individuelle par l'identification des révisions – dans l'historique.

Cependant, les observations en classe et lors des présentations ou des révisions d'examen suggèrent qu'ils semblaient avoir une conscience claire des auteurs de chaque fragment du texte et semblaient y accorder une crédibilité différenciée. On peut interpréter cela – avec prudence – comme une référence à la source de la connaissance et une validation graduée en fonction de la compétence estimée de l'élève qui a rédigé ce fragment. Un exemple dans le questionnaire de fin d'année suggère cette conscience de la source :

> Il y en a qui étaient excellents, d'autres dont j'ai été un peu décue.
> Non, parfois les wiki sont très mal rédigés et peu compréhensibles.

Ces résultats confirment que la pratique de textes de qualité très variée aussi bien dans les ressources utilisées pour l'investigation que dans les textes utilisés pour préparer les examens développerait une compétence d'intelligence informationnelle : prendre en compte l'auteur pour juger la validité d'une information. Aussi cet élément de design est confirmé (ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène). Nous avions propos qu'un effet indirect de l'usage d'internet – souvent décrié pour la qualité des informations qu'on y trouve – serait de fournir cette hétérogénéité. Nos données confirment ici la pertinence de cet ED15 dans un dispositif IBL, offrant une structure qui développe la validation autonome.

Ce sont des indices confirmant un peu que produire soi-même et utiliser des textes de pairs pourrait développer une culture de la citation (ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte). Nous avons discuté à quel point la culture de la citation est peu ancrée dans les pratiques scolaires et donc combien les attentes doivent être modérées sur ce point, mais nous estimons que cet élément devrait être repensé ou intégré de manière différente dans le dispositif si l'on veut obtenir des effets sur la pratique de la citation.

### 7.5.3 **Synthèse des résultats à la question Q2E**

Nous estimons que ces résultats confirment de manière substantielle que i) un très large choix de ressources ii) un feed-back sur la pertinence et l'adéquation au paradigme, dans les commentaires et les évaluations notées, peuvent développer chez les élèves des stratégies d'intelligence informationnelle, de sélection de ressources, de validation et de synthèse qui les conduisent vers les concepts structurants et une connaissance au moins implicite du paradigme de la biologie. Cela confirme nettement les conjectures et éléments de design CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources, ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène, ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme).

Nous relevons notamment l'importance de ressources (plus) authentiques – c'est-à-dire plus proches du paradigme et des données qui fondent ces connaissances, et de l'hétérogénéité des ressources non prescrites. Nous considérons que ces éléments de design ont permis aux élèves de développer des compétences pour trouver, sélectionner, synthétiser dans la surabondance qu'offre internet et pour exploiter de très gros ouvrages de niveau académique.

Nos résultats suggèrent qu'ils ont commencé à dépasser une stratégie d'apprentissage exhaustif liée à des documents prescrits, pour baser leur construction de connaissances sur des stratégies d'intelligence informationnelle forcément associées à la validation autonome.

Il s'agit donc de bien plus que simplement trouver de l'information. Si nous reprenons la définition d'intelligence informationnelle (traduit d'infolittéracie), ce sont des stratégies se manifestant par un processus qui se réalise dans une production :

> Etre capable de trouver de l'information sur les biosciences depuis diverses sources et de *l'évaluer*. D'en communiquer les principes oralement et par écrit, d'une manière structurée, pertinente, et en référence aux hypothèses dans lesquelles elle s'inscrit. […] Disposer de stratégies bien développées pour mettre à jour, et développer leurs connaissances. (QAA, 2002 Traduction personnelle, la mise en évidence est de nous)

La connaissance résulte de compétences qui s'exercent dans un processus de validation. Dans notre définition, ces compétences de validation scientifique sont encapsulées dans la connaissance scientifique qui est produite. La connaissance est scientifique parce que ce processus de validation a eu lieu ou au moins pourrait avoir lieu à volonté. Nous avons vu que les connaissances ne sont que très rarement complètement scientifiques, mais que développer une épaisseur scientifique non nulle est déjà un objectif ambitieux dans l'école. Nous considérons que la validation par confrontation à des ressources aussi authentiques que possible développe des connaissances d'une épaisseur scientifique minime, mais remarquable dans ce contexte.

Nous avons vu avec Rouet (Rouet, 2006) ainsi qu'avec Bromme (Bromme, et al., 2008) que ces stratégies d'intelligence informationnelle ne sont pas de simples compétences techniques et méthodologiques, mais sont liées à une épistémologie sophistiquée. Nos résultats suggèrent que cette épistémologie n'est pas pleinement atteinte chez tous les élèves (certains avouent qu'ils aimeraient quand même qu'on leur dise si les savoirs qu'ils ont produits dans le wiki sont « justes »), mais qu'elle est suffisamment développée pour que les élèves assument la validation face aux pairs dans un document qui fait du sens pour les élèves (ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe).

Nous répondons positivement à la question (section 2.1.15 (p. 25)) « La surabondance d'information : un problème pour l'école ou une opportunité d'affronter la complexité du monde ? ». Nos résultats suggèrent que la surabondance d'informations constitue une opportunité de développer l'intelligence informationnelle, de confronter les élèves à des ressources (plus) authentiques. Sans nier la transposition didactique inéluctable, nos résultats suggèrent qu'il est possible d'apprendre aux élèves des compétences d'intelligence informationnelle qui leur permettent de remonter le flux de cette dégradation et d'apprendre à affronter les ressources complexes et authentiques qui les conduisent progressivement dans le paradigme de la biologie.

Nous notons avec ironie que les élèves pourraient avoir développés la conscience de la source (une des dimensions métacognitives de la connaissance scientifique) à cause de la qualité imparfaite et hétérogène de la production wiki. D'une part, l'imperfection du document les a incité à douter et à effectuer une validation individuelle, d'autre part, la conscience de l'auteur des diverses parties du document et la perception de la compétence de l'autre semblent avoir été des critères utilisés pour la validation par plusieurs élèves. En effet, ils ont procédé à des vérifications dans des ouvrages de référence plus fréquemment selon la compétence perçue de l'auteur du fragment de texte. Certaines recherches (Bourgeois & Buchs, 2011; Butera, Gardair, Maggi, & Mugny, 1998; Mugny, Butera, Quiamzade, Dragulescu, & Tomei, 2003) montrent que le doute sur la compétence des pairs avec lesquels l'apprenant interagit suscite des confrontations socio-cognitives (s'il y a doute sur la compétence de l'autre, d'abord il y a rejet de l'information puis un processus de discussion et de confrontation). Ainsi ce serait tout particulièrement le traitement des sources dans le document commun qui développerait le travail cognitif de validation en référence aux sources.

Cela confirme ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène et par retournement : ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel.

Ainsi le développement de stratégies de sélection, de validation, de synthèse semble être favorisé par la confrontation à des ressources variées, le plus authentiques possibles dans ce design, ce qui confirme CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources et CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme. Parmi les conditions nécessaires, relevons ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant).

L'espace d'écriture a été étudié sous l'angle de interactions qui s'y produisent. Examinons comment il doit être réalisé pour rendre possible ces interactions.

## 7.6 Rôle de l'*artefact conceptuel* supportant l'investigation

Le dispositif est étayé par un espace d'écriture partagé (wiki), des bases d'images et de ressources (cf. Figure 27) qui sont mis en place et gérés par l'enseignant (rôles 1a, 1e, 2a, 2b, 2c, 2d, 2h, 5a).

L'IBL repose de manière cruciale sur un espace d'écriture partagé, le wiki. Ce wiki contribue à étayer les trois options pédagogiques fondamentales (Communauté apprenante, Structure coopérative, Authenticité dans le paradigme). En effet, la communauté apprenante se construit autour de la production commune de la brochure co-écrite dans le wiki. Les interactions qui déterminent la structure coopérative y sont réifiées, l'interdépendance positive et la responsabilité y sont manifestées par la contribution visible de chacun aux savoirs produits.

Enfin, c'est dans le wiki que l'intégration du paradigme se construit par interaction avec les ressources (plus) authentiques qui sont proposées, et par l'écriture qu'elles y sont synthétisées.

Le wiki rend possible et sous-tend trois éléments cruciaux du design (la responsabilité des élèves face aux pairs, le but partagé d'approfondissement conceptuel et la validation par référence aux ressources). En effet i) la responsabilité de chacun y est manifestée par sa contribution aux savoirs produits et le wiki supporte les exposés aux pairs, ii) l'utilité de ce document commun décisif pour la préparation des examens manifeste la production de savoirs approfondis et sa rédaction étaye les processus de validation individuelle par sélection – synthèse – rédaction – présentation, enfin iii) c'est dans le wiki que la négociation des questions, les feed-back de l'enseignant, les échéances et les critères et l'évaluations sont réalisés et réifiés. ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe

Le wiki fournit un espace d'écriture partagé qui capitalise la progression conceptuelle (effet « anti-Sisyphe ») et structure la production. Cet espace permet des confrontations socio-cognitives, étaye la synthèse par l'écriture, est le lieu des interactions d'étayage structurant ou stimulant. C'est un artefact conceptuel dont la fonction est de permettre ces interactions. Une fois l'institutionnalisation réalisée et la brochure imprimée, le vrai résultat est obtenu : les élèves ont acquis des connaissances et le wiki qui supporte l'artefact conceptuel peut alors être effacé, on peut s'en *dispenser*. Pour des raisons de recherche, nous avons conservé les anciens wikis, mais rendu difficile leur accès pour éviter que les élèves des années suivantes en recopient simplement le contenu.

Le wiki a aussi constitué un espace partagé, accessible à tout moment à chacun, où sont manifestés les résultats des négociations (questions notamment), les consensus, les choix, les échéances et les critères. Le wiki est en général assez sobre en termes de mise en forme du texte. Nous considérons cela comme un avantage car cela focalise l'activité des élèves sur l'élaboration conceptuelle et peut limiter la procrastination.

Nous n'avions pas explicitement formulé d'élément de design sur ce point mais proposons une recommandation de design qui résume ces points : RD18 : Etayer le dispositif dans un artefact conceptuel permettant à tous les participants la co-écriture à distance, facilitant les révisions, et l'identification des changements.

## 7.7 Synthèse des résultats à la question Q2

Nous allons maintenant extraire de ces résultats issus de l'analyse du dispositif particulier des conclusions de portée plus large sur la question de recherche.

Le paradoxe du guidage et de la dévolution des questions se résout si l'on considère les questions comme une construction progressive par affinage : c'est surtout comment elles se construisent qui compte, plutôt que leur adéquation au départ. Les mécanismes qui les font converger vers les « bonnes » questions doivent retenir l'attention aussi bien lors de la conception de designs que dans leur conduite. Nos résultats suggèrent en effet qu'une autorité pédagogique peut garantir la couverture curriculaire et l'approfondissement dans le paradigme de la biologie à travers i) la négociation de questions qui appartiennent aux élèves en rapport explicite avec des objectifs partagés et une évaluation alignée et ii) des feed-back qui indiquent des incohérences et guident vers des ressources plus authentiques (de nouvelles expériences ou des expériences par procuration dans les textes authentiques).

La pratique de textes de qualité très variée aussi bien dans les ressources bibliographiques utilisées pour l'investigation que dans les textes utilisés pour préparer les examens semble développer une compétence cruciale pour la connaissance scientifique et l'intelligence informationnelle : la validation de ses connaissances en référence aux sources pour déterminer

son degré de validité (ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte). Nos résultats suggèrent que les élèves ont appris à prendre en compte les indices sémantiques profonds comme l'auteur plutôt que les indices de surface comme le libellé des titres (Rouet, 2006) qui différencie les experts des néophytes. Ces indices suggèrent que le dispositif a pu développer l'autonomie dans la validation de leurs connaissances. Aussi cet élément de design (ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène), qui est apparu comme un effet indirect de l'usage d'internet, prend une place importante dans les recommandations issues de cette recherche. Nous avons discuté comment l'autorité peut être inscrite dans le dispositif par des règles et des structures, et que cette inscription facilite l'autonomie nécessaire à la validation scientifique. Cette validation autonome ne conduit pourtant à des connaissances scientifiques pertinentes que dans certaines conditions qui ont prévalu dans ce dispositif. Il nous semble que les plus critiques sont ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté, ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives, ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves, ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables, ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe, ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes. Ces conditions ne sont pas très courantes, aussi il faudrait se garder de généraliser hâtivement sous la forme d'une recommandation indifférenciée sur l'opportunité de confronter les élèves à des ressources de qualité médiocre.

Néanmoins ces résultats suggèrent que ces recommandations de design, même imparfaitement réalisées, permettent le développement de stratégies de sélection de ressources, d'extraction d'information et de synthèse (d'intelligence informationnelle) efficaces et suggèrent une certaine robustesse des recommandations de design prises ensemble.

En conclusion de l'ensemble de la question 2 (Q2 : *Comment structurer et maintenir un contrat didactique pour l'investigation scientifique de type IBL ?*), nous proposons une synthèse des effets éducatifs observés et des liens proposés avec les éléments de design :

i) *Implication dans l'apprentissage*.
Résultats le confirmant : écriture itérative abondante (3400 mots environ en 3 semaines par groupe de 3-4) et présentations face aux autres assumées, affrontement de ressources difficiles, affinage conceptuel des questions.
Comment l'obtenir : responsabilité face aux pairs.
Lié à : structure coopérative (IP + RI), but partagé d'approfondissement des connaissances, dévolution progressive de la validation, artefact conceptuel (production d'une brochure déterminante pour la réussite aux examens).

ii) *Approfondissement conceptuel en biologie*.
Résultats le confirmant : complexité épistémique importante dans les écrits, concepts structurants du paradigme abordés, sources authentiques exploitées, synthèse pertinente constatée dans les présentations aux pairs et la brochure, rapport de l'expert, examens et questionnaires post-secondaire.
Comment l'obtenir : but partagé d'approfondissement des connaissances.
Lié à : authenticité des ressources dans le paradigme, règle d'unicité conceptuelle des questions - réponses, dévolution progressive de la validation, responsabilité face aux pairs, espace d'écriture partagé comme artefact conceptuel.

iii) *Autonomie dans la validation scientifique* .

Résultats le confirmant : choix parmi une surabondance d'informations contradictoires, sélection de savoirs assumée lors de présentations aux pairs et l'écriture de la brochure, connaissances pertinentes attestées en l'absence de validation par l'enseignant.

Comment l'obtenir : dévolution progressive de la validation.

Lié à : contrôle incarné dans la structure, ressources surabondantes, non prescrites et de qualité hétérogène, écriture itérative dans un artefact conceptuel, règle d'unicité conceptuelle des questions - réponses, responsabilité face aux pairs, but partagé d'approfondissement conceptuel.

Chacun des points synthétisés reprend des éléments des deux autres et révèle ainsi combien les différents paramètres sont liés et ne peuvent être subordonnés les uns aux autres dans une chaîne causale simple. L'analyse des éléments de design devra donc rechercher d'autres formes de causalités pour comprendre l'ensemble. C'est ce que la conclusion va tenter de faire dans un premier temps.

# 8 Conclusion

> Quelles formes nouvelles de médiations entre les acteurs du dispositif que les technologies permettent faut-il mettre en place pour « oriente[r] l'activité tâtonnante, …facilite[r] les échanges entre groupes, …provoque[r] des moments d'explication, de vérification, de confrontation, de communication (moments structurants). (Astolfi, 2008)

## 8.1 Introduction à la conclusion

Nous avons mené une expérience de terrain sur de nombreuses années qui a permis d'élaborer un dispositif d'IBL pour développer des connaissances scientifiques dont l'efficacité est plutôt bien établie et que nous analysons pour produire une contribution théorique à la recherche sur l'enseignement des sciences, et en particulier de l'investigation.

Nos objectifs étaient de contribuer à la théorie sur l'IBL notamment i) en développant une conceptualisation qui permette ii) d'analyser un dispositif IBL, d'identifier les principaux éléments de design qui le structurent et d'isoler des variables pertinentes pour le concevoir et le piloter, iii) en proposant un ensemble de recommandations de design (RD) structurées et articulées avec les fondements théoriques et les effets éducatifs prévisibles. Ces recommandations ont le statut d'hypothèses fondées.

Nous avons distingué la synthèse de nos résultats en deux temps : dans un premier temps la synthèse éclairera sous un angle didactique, définissant des attitudes des élèves et des fonctionnements du dispositif visés pour dégager des recommandations concernant les conditions du milieu (Brousseau, 1998) auquel les élèves sont confrontés (sous forme de recommandations de design) en vue de produire leurs connaissances scientifiques. Ensuite nous chercherons à définir (sous forme de RD de pilotage notamment) comment l'action enseignante peut produire de tels milieux.

## 8.2 Résumé synthétique des résultats globaux

Dans la première perspective, une fois le dispositif mis en place et fonctionnant, l'enseignant est considéré lui aussi comme partie prenante du dispositif ; il est un des éléments d'un système dynamique où les acteurs interagissent et leurs actions modifient le milieu auquel les autres – et eux-mêmes – sont confrontés. Afin de développer l'autonomie et la responsabilisation de l'élève, nous cherchons à progressivement transférer la responsabilité de certains rôles – notamment de sélection, de validation, de synthèse et de discussion face aux pairs – aux élèves. Dans un premier temps, l'action de l'enseignant n'a pas été traitée séparément mais intégrée à travers des rôles qu'il assume à certains moments dans le dispositif. Cependant, il assume en amont et en parallèle une responsabilité pédagogique fondamentale : mettre en place et veiller à ce que le dispositif atteigne ses objectifs. Aussi nous tenterons, dans un deuxième temps, une synthèse (basée notamment sur les résultats de la question Q2D) des recommandations sur l'action enseignante pour mettre en place ces conditions du milieu. Puis nous discuterons les limites et perspectives de cette recherche.

D'abord nous allons reprendre la synthèse des résultats pour tenter de mettre en lien les fondements pédagogiques (les théories pédagogiques issues de la littérature ou construites dans

cette thèse), les résultats concernant la connaissance scientifique et une synthèse des éléments de design (ED) sous forme de recommandations de design (RD).

La liste des éléments de design est un élément important de nos résultats, cependant pour éviter d'alourdir le texte, elle ne sera pas rappelée ici, car elle figure en section 10.9 : Annexe : Liste des conjectures (CJ) et éléments de design (ED) (p. 385).

Les trois effets principaux éducatifs que nous avons observés sont : i) *Implication dans l'apprentissage.* ii) *Approfondissement conceptuel en biologie.* iii) *Autonomie dans la validation scientifique.*

Cette synthèse avait révélé – par le fait que chacun des points synthétisés reprend des éléments des deux autres – combien les différents paramètres sont liés. Une analyse qui disséquerait les paramètres pour chercher des causalités linéaires ne pourrait pas bien rendre compte de ces liens. L'importance cruciale d'une analyse qui englobe ces liens est bien identifiée (A. L. Brown, 1992) et fonde justement le paradigme *design-based* (Design Based Research Collective, 2003).

Notre analyse doit donc être suffisamment globale pour prendre en compte cette complexité, mais chercher des formes de synthèse qui rendent utilisables et communicables nos résultats « *must lead to sharable theories that help communicate relevant implications to practitioners and other educational designers* » (Design Based Research Collective, 2003 p. 3) sans perdre la cohérence de ces liens. Une première théorie que nous proposons est une abstraction du design qui s'éloigne des contingences des dispositifs étudiés pour proposer une structure cohérente décrivant l'essentiel du design et des relations entre les concepts. Sans doute faudrait-il parler d'approche systémique, mais nous n'avons pas assez approfondi ce concept et craindrions de tomber dans la pensée facile ou de le dénaturer. Nous allons voir que les interdépendances entre les variables les plus critiques sont mieux comprises dans une vision systémique.

## 8.3 Abstraction du design IBL

### 8.3.1 Conclusion pour la question Q1 : Comment réaliser un dispositif d'investigation à l'année assez efficace pour que les élèves d'année terminale y acquièrent des connaissances pertinentes aux yeux de l'institution ?

*Q1A : Comment est organisé le dispositif d'investigation IBL étudié ?*

Nos conclusions sont fondées sur la description du dispositif en Q1A. Nous renvoyons le lecteur au Tableau 4 : Les activités principales et leur déroulement dans le dispositif d'investigation p. 179 et au schéma de la spirale d'IBL Figure 23 p. 178. Nous présentons ci-dessous (cf. Tableau 8) une synthèse de ces descriptions et des phases que l'analyse a produites. Nous les avons structurées en fonction du déroulement et du pilotage des activités. Nous le proposons comme guide synoptique pour la gestion d'IBL dans l'éducation scientifique à la biologie.

| Phase discernable | Activités | Comportements et activités cognitives visées | Variables à observer |
|---|---|---|---|
| Exploration | I : Susciter des questions, les enregistrer, les organiser<br>II : Rechercher des réponses, réviser, approfondir concept | Intérêt pour le thème<br>Questionnement<br>Repérage conceptuel<br>Premières définitions | Appropriation par les élèves des questions, colonisation de tout le champ conceptuel |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Approfondissement conceptuel | II : Rechercher des réponses, réviser, approfondir concept<br>III : Echéance d'écriture, consolidation, évaluation,<br>IV : Présentation aux pairs et redéfinition des questions | Affinage conceptuel<br>Chercher, sélectionner, synthétiser<br>Confrontation intra-texte, intertextes et avec les ressources<br>Présenter aux pairs | Délimitation conceptuelle<br>Complexité épistémique s'accroissant |
| Institutionnalisation | IV : Présentation aux pairs et redéfinition des questions<br>V : Institutionnalisation et évaluation | Stabilisation et définitions de la terminologie<br>Explication des concepts<br>Révision de la structure<br>Révision en vue diffusion pour la classe. | Structure et définitions<br>Approfondissement (complexité épistémique)<br>Limites temporelles de l'institution |

Tableau 8 : Les activités, les phases du design abstrait et les variables pertinentes.

Nous avons mis en évidence l'importance cruciale que les élèves acceptent d'assumer leurs rôles dans les activités, sinon ils ne produisent pas les effets d'apprentissage attendus. Nous proposons donc que le design d'IBL définisse et observe les rôles par les comportements qui les manifestent et considérons qu'attribuer des rôles aux élèves ne suffit pas à garantir qu'ils endossent ces rôles.

*Réponse à la Q1B : Dans quelle mesure les connaissances acquises dans le dispositif étudié sont-elles scientifiques, adéquates dans l'institution et par rapport au paradigme de la biologie ?*

Nous avons noté que les résultats montrent systématiquement comment le dispositif a produit des résultats intéressants, malgré des ED imparfaitement atteints et des critères observés de scientificité, de structure coopérative, de but d'apprentissage partagé incomplètement réalisés (épaisseur scientifique modérée, argumentation assez limitée, citations explicites presque absentes, authenticité limitée ne remontant pas jusqu'à l'expérimentation, pas bien intégrée, coopération limitée, etc.). Pourtant on observe globalement et de manière répétée au cours des années plusieurs résultats satisfaisants et très pertinents : autonomie réelle des élèves dans la validation de leurs connaissances, validation en référence à des sources plus authentiques que le maître, affinage des questions vagues vers des questions précises et en adéquation avec le paradigme dans lequel les ressources sont authentiques, production de synthèses assumée face aux pairs. Bien que imparfaitement atteints, ces résultats constituent des résultats peu courants (De Vecchi, 2006) et très pertinents par rapport à nos objectifs. Cela donne une certaine validation aux recommandations de design qui structurent ce design surtout prises dans leur ensemble : elles ont le statut d'hypothèses fondées.

### 8.3.2 **Conclusion pour la question Q2** ***Comment structurer et maintenir un contrat didactique pour l'investigation scientifique de type IBL ?***

La logique itérative de DBR implique que le cadre théorique soit repensé à la fin de chaque analyse des résultats. Nous revenons donc dans cette conclusion sur la conceptualisation et inscrivons la réponse à la Q2 dans le prolongement de la réponse à la question Q0 *« Quelle conceptualisation du dispositif en permet une analyse pertinente ?* ». Cette conceptualisation

nous permet de décrire, puis de discuter une structure abstraite de design IBL. Nous la proposons comme une structure généralisée qui peut servir de base pour élaborer divers designs visant le développement de connaissances scientifiques.

Les résultats de plusieurs années d'implémentation du dispositif montrent un développement modeste de connaissances scientifiques au sens que nous avons défini. Cette efficacité malgré le degré d'atteinte de chacune des recommandations assez imparfait suggère que la cohérence de l'ensemble est plus importante que le degré de réalisation de chacune des recommandations d'attitudes RDA. Nous interprétons cela comme un indice de robustesse de cette structure du design. Ainsi une conceptualisation pertinente doit manifester cette interdépendance par une structure explicitant cette cohérence.

*Une description abstraite qui illustre l'interdépendance des recommandations et des fondements*

En synthétisant cette analyse, nous avons produit une description abstraite du design IBL. Bien que la coécriture itérative guidée, le pilotage par les questions comme principe structurant et leur évolution progressive par confrontation aux ressources et négociation frappent comme des caractéristiques remarquables, elles sont tellement imbriquées et liées aux autres éléments du design que plusieurs tentatives de synthèse depuis les activités des élèves ou des enseignants n'ont pas abouti, et l'analyse répétée des résultats pour chercher les déterminants profonds nous a conduit à les trouver dans les conditions du *milieu* (Brousseau, 1990), et à définir l'IBL par seulement trois recommandations fondamentales d'attitudes d'où découlent les autres recommandations. Ces recommandations de design d'attitude RDA découlent de choix pédagogiques fondamentaux que nous appellerons *fondements pédagogiques*. Leur interdépendance nous a conduit à représenter le design abstrait par une structure hexagonale (cf. Figure 41) qui illustre bien les dépendances et causalités circulaires. Nous allons l'expliciter en commençant par les recommandations les plus cruciales de ce design. Elles concernent les attitudes visées chez les élèves et nous les exprimons en recommandations de design (RD) concernant des objectifs d'attitudes (RDA). Chacune de ces trois recommandations d'attitudes RDA1 à RDA3 synthétise une ou plusieurs conjectures issues de l'analyse de nos résultats (cf. Tableau 9).

- RDA1 : Susciter la responsabilité par les élèves d'une partie des savoirs face aux pairs
- RDA2 : Susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie
- RDA3 : Transférer aux ressources la validation scientifique des connaissances, conserver l'autorité pédagogique

Chacune des ces trois recommandations de design d'attitudes RDA s'appuie sur deux des fondements pédagogiques : i) Communauté apprenante qui détermine RDA1 et RDA2, ii) Structure coopérative qui détermine RDA1 et RDA3, iii) Authenticité dans le paradigme qui détermine RDA3 et RDA2. L'ensemble de ces concepts dépendants les uns des autres forme une structure cohérente avec les cadres théoriques et les recommandations d'attitudes s'assemblant en un hexagone qui conduit à des connaissances scientifiques illustrées au centre. Une représentation linéaire ne traduirait pas bien ces dépendances deux à deux. Nous avons mis en évidence trois aspects de la production de connaissances scientifiques et les relions aux RDA : l'approfondissement conceptuel dans le paradigme résulte de la RDA2 : l'adhésion à un but partagé d'approfondissement en biologie, l'implication dans l'apprentissage découle de la responsabilité face aux pairs d'une part des savoirs (RDA1), et l'autonomie dans la validation scientifique découle de la RDA3 : dévolution de la validation scientifique. La connaissance scientifique résulte de l'effet – convergeant au centre – de ces recommandations (cf. Figure 41).

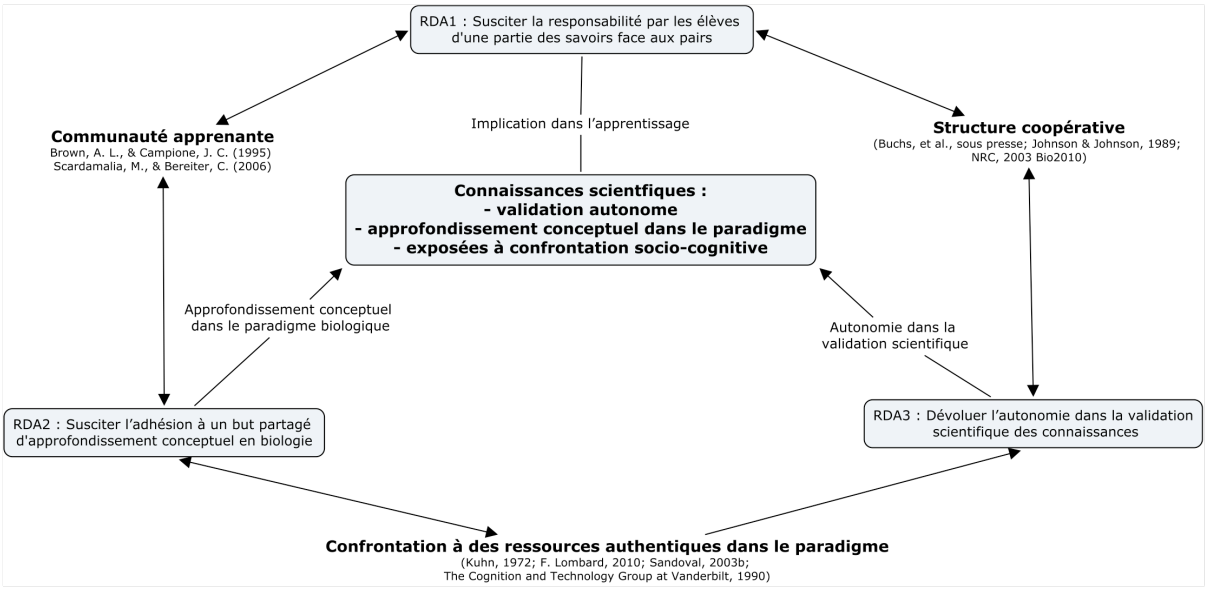



Figure 41 : Structure abstraite de designs visant le développement de connaissances scientifiques. Elle construit dans des activités de co-écriture trois aspects des connaissances scientifiques à partir des trois principales recommandations de design d'attitudes (RDA). Chacune des RDA est fondée par les deux fondements pédagogiques la jouxtant. Dans ce schéma de synthèse, les activités d'écriture partagée qui soutiennent cette construction de la connaissance ne sont pas explicitement figurées.

Chacune des ces trois recommandations de design d'attitudes RDA est fondée en empruntant à deux des fondements pédagogiques des concepts essentiels – sans forcément s'y inscrire avec une orthodoxie complète :

- Communauté apprenante (A. L. Brown & Campione, 1995; Scardamalia & Bereiter, 2006) qui fonde la responsabilité des élèves sur une part des savoirs (RDA1) et le but partagé d'approfondissement en biologie (RDA2).
- Structure coopérative (Buchs, et al., sous presse; Johnson & Johnson, 1989; NRC, 2003) qui détermine la responsabilité des élèves sur une part des savoirs (RDA1) et la dévolution de la validation (RDA3).
- Authenticité dans le paradigme (Kuhn, 1972; F. Lombard, 2011; Sandoval, 2003b; The Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990) : la confrontation aux ressources authentiques dans le paradigme fonde la dévolution de la validation (RDA3) et la responsabilité des élèves sur une part des savoirs (RDA1).

Une représentation linéaire ne traduirait pas bien ces dépendances deux à deux. Une structure hexagonale illustre bien les dépendances et causalités interdépendances. Les trois fondements pédagogiques relient les trois RDA, formant les 6 angles de l'hexagone (cf. Figure 41).

Nous proposons la structure abstraite comme un résultat important de cette recherche, elle est une production théorique, fondée sur l'analyse de nos résultats mais conformément au paradigme DBR elle n'est pas (encore) testée. Issue d'une implémentation, elle aidera à concevoir la suivante. De manière plus générale, nous proposons cette représentation d'un design IBL décontextualisé et généralisé comme un artefact conceptuel à vocation heuristique parce qu'il est susceptible d'aider à concevoir et observer de nombreux dispositifs d'investigation : elle permet de concevoir de nouvelles conjectures pour des implémentations futures, de susciter des questions de recherche, de guider la conception et le pilotage de dispositifs d'investigation.

### 8.3.3 Justification des Recommandations de Design d'Attitude (RDA) fondamentales

Les recommandations les plus fondamentales organisant notre design abstrait sont des recommandations concernant des attitudes (RDA). Cela nous paraît découler de l'inspiration socioconstructiviste de notre projet : les facteurs principaux de l'apprentissage sont internes à l'élève et sont liés à la dynamique de la communauté d'apprentissage. Le Tableau 9 indique les éléments de design qui découlent de cette RDA.

RDA1 : Susciter la responsabilité par les élèves d'une partie des savoirs face aux pairs. La responsabilité par les élèves d'une partie des savoirs face aux pairs est encouragée par la structure coopérative (interdépendance positive et responsabilité individuelle, confiance et sécurité, ...), l'écriture itérative dans un espace partagé, des présentations aux pairs tôt dans l'investigation, et des objectifs partagés avec les élèves. « *Collective responsibility for community knowledge* » (Zhang, et al., 2007 p. 139). Cette recommandation est supportée, en partie, par la conclusion d'une méta analyse récente qui souligne l'effet important d'impliquer les élèves dans la production d'explications : *"This finding suggests that engaging students in generating, developing, and justifying explanations as part of other science activities is an important element to helping students learn science."* (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012 p. 323).

RDA2 : Susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie. L'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie est encouragé par un espace d'écriture partagé d'un document qui fait du sens pour les élèves, l'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs et focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis. Le partage du but (manifesté en particulier dans la production commune d'un document important pour préparer les examens) est une partie du climat coopératif « proposer une tâche commune réalisable en groupe » et créée l'interdépendance positive (C. Buchs, et al., 2004 p. 180). La valeur des savoirs de ce document, manifestée aux yeux des élèves par l'efficacité pour préparer les examens, les commentaires de l'enseignant, l'utilisation par d'autres élèves de classes parallèles et les commentaires dans les questionnaires post-secondaires apparaît comme un facteur de motivation important dans nos résultats. Le Tableau 9 indique les éléments de design qui découlent de cette RDA.

RDA3 : Transférer aux ressources la validation scientifique des connaissances, conserver l'autorité pédagogique. L'autonomie et la responsabilité progressivement dévolue de la validation est rendue possible par la séparation de l'autorité pédagogique et de l'autorité scientifique permettant aux élèves de trouver celle-ci dans les ressources, la responsabilité devant les pairs d'une partie du champ de l'investigation, la confrontation à des ressources de qualité hétérogène, d'authenticité progressive et l'écriture itérative dans un espace partagé. Nous considérons cette recommandation comme particulièrement importante, elle assure l'insertion disciplinaire approfondie. Nous pensons que sans cet ancrage disciplinaire fort, de nombreux enseignants se méfient de l'investigation. Le Tableau 9 indique les éléments de design qui découlent de cette RDA

Pour vérifier que les Conjectures (CJ) et Eléments de Design (ED) décrits, analysés et validés dans cette recherche sont effectivement synthétisés dans ces trois recommandations fondamentales, nous avons situé une liste exhaustive de ces CJ et ED dans un tableau en correspondance avec chacune des RDA (cf. Tableau 9). Certains ED peuvent figurer plus d'une fois quand elles découlent de plus d'une RDA.

| | |
|---|---|
| RDA1 : Susciter la responsabilité par les élèves d'une partie des | ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives |

| | |
|---|---|
| savoirs face aux pairs | ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables<br>ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves<br>ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance<br>ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur<br>ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel<br>ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé)<br>ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances<br>CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions<br>CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage<br>ED26 : L'autorité pédagogique peut être inscrite dans la structure du design afin de délimiter un cadre qui délimite mais donne la liberté aux élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle |
| RDA2 : Susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie | ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté<br>ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves<br>ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur<br>ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs<br>ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe<br>ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis<br>ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages |

| | |
|---|---|
| | ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité<br>CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources<br>CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme<br>CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions |
| RDA3 : Transférer aux ressources la validation scientifique des connaissances, conserver l'autorité pédagogique | ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes<br>ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant)<br>ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves<br>ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène<br>ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel<br>ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte<br>ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation<br>CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources<br>CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme<br>CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions<br>ED26 : L'autorité pédagogique peut être inscrite dans la structure du design afin de délimiter un cadre qui délimite mais donne la liberté aux élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle |

Tableau 9 : Les éléments de design (ED) et conjectures (CJ) confortés par nos résultats mis en correspondance avec leur synthèse dans les recommandations de design d'attitude (RDA) du design abstrait.

### 8.3.4 **Vers quelle connaissance scientifique conduit l'IBL ?**

*Quelle connaissance scientifique ?*

Ce design abstrait converge en son centre vers le développement de connaissances validées de manière (plus) scientifique chez les élèves. Nous allons présenter et discuter une synthèse des recommandations qui semblent développer des connaissances scientifiques chez les élèves.

Nous avions développé une définition très ambitieuse – un horizon ultime pour guider le projet – de la connaissance scientifique basée sur l'épaisseur métacognitive (Bromme, et al., 2008) : Nous considérons ici une connaissance comme scientifique si et dans la mesure où elle est validée par les liens avec des données expérimentales dont la source est identifiée, dont les liens avec l'affirmation sont discutés en regard des hypothèses qui fondent les mesures et dont le degré de certitude n'est pas total. Nous avons aussi discuté combien le débat (notamment dans le littérature, les conférences, etc.) contribue au processus de validation scientifique par la communauté des chercheurs (Osborne, 2010) qui se réfère à Toulmin (1958). Selon cette définition, très peu de connaissances ont une épaisseur scientifique complète, mais elle peut guider la conception et la conduite de design où l'on visera l'accroissement de l'épaisseur des connaissances chez les élèves : sevrer les élèves de la validation par le maître pour les rendre capables de valider eux-mêmes en référence à des ressources authentiques et par justification face aux pairs est un pas important.

Nos résultats montrent clairement que les élèves ont développé des connaissances incomplètement scientifiques et que les formes de débat scientifique discutant les idées étaient assez limitées. Pourtant – vus sous l'angle du verre à demi plein – ces mêmes résultats suggèrent que les élèves ont développé au moins certains aspects fondamentaux de la validation scientifique (validation sans la prescription du maître, à partir de sources plus authentiques, repérage des productions des pairs dans le document commun et donc de la source, utilisation de sources nombreuses et divergentes), et des formes minimales de débat scientifique (co-écriture de la synthèse d'une part des savoirs, assumée et défendue devant les pairs). Le simple fait que la responsabilité de la validation soit assumée par les élèves détache de l'autorité prescriptrice de l'enseignant. Or cette autorité rend impossible la remise en question des conceptions, les confrontations socio-cognitives et finalement l'apprentissage scientifique (Bourgeois & Buchs, 2011). Le développement de cette compétence est important pour les études académiques et pour le simple citoyen dans une société de la connaissance (Rocard, et al., 2006). Sans entrer dans une comparaison, nous pensons que ces résultats indiquent une épaisseur métacognitive suffisante pour discuter les éléments de design et leurs liens conduisant à ces connaissances afin d'identifier des recommandations pour le développement de designs et de recherches futures.

Reprenons les trois aspects de la connaissance scientifique qui – d'après nos résultats – semblent être notablement développés par ce design abstrait (synthétisé dans les RDA1 à RDA3). Nous caractérisons la connaissance scientifique par le type de validation. Nous en avons retenu trois aspects i) La connaissance étant une propriété construite dans la cognition de la personne qui connaît, la validation doit être autonome pour que des informations (ou des savoirs) deviennent connaissance. ii) La validation est scientifique dans la mesure où elle est faite en référence à des données, aux hypothèses qui les fondent et en discutant la solidité de ces liens (Bromme, et al., 2008; Toulmin, 1958). La connaissance est fondamentalement un processus cognitif, une validation *individuelle*, mais elle repose sur un processus *social* : elle nécessite la confrontation aux autres pour éprouver la solidité de ces justifications et élargir leur base. iii) La connaissance

scientifique s'inscrit dans un paradigme défini par des questions, des objets et des méthodes (Kuhn, 1972).

Le design semble produire ces connaissances quand les objectifs décrits par les RDA sont réalisés ; il est évident qu'un tel dispositif n'apparaît pas spontanément mais que le design et sa conduite résultent de l'activité de l'enseignant. Nous avons mis en avant combien la structure du design fonctionne comme un cadre qui permet la liberté des élèves et qu'il incarne une part de l'autorité pédagogique, mais nous n'avons pas encore assez synthétisé comment cette structure peut être mise en place.

## 8.4 Comment l'autorité pédagogique peut piloter vers la connaissance scientifique : synthèse de recommandations concernant l'action de l'enseignant

Nous reprenons ici, sous l'angle de l'enseignant, la synthèse de nos conclusions. Dans une grande part de cette recherche, son action n'a été traitée qu'indirectement à travers les rôles qu'il assume pour mettre en évidence le transfert de ces rôles aux élèves afin de les rendre autonomes, pour souligner comment l'autorité scientifique doit être distincte de l'enseignant. Cette autonomie dans la validation rend d'autant plus nécessaire une autorité pédagogique qui est fermement sous la responsabilité de l'enseignant. Cette recommandation fondamentale est un résultat central de notre recherche qui détermine de nombreux choix singuliers dans la mise en place et le guidage d'IBL.

Nous allons tenter une synthèse en termes de recommandations (ayant le statut d'hypothèses fondées) sur l'action enseignante pour guider vers les objectifs de connaissance scientifique.

Cette synthèse est basée notamment sur les résultats de la question *Q2D Quelles interventions de l'enseignant soutiennent et incitent à assumer les rôles permettant l'apprentissage dans les phases successives de l'investigation ?*

Nous avons discuté comment l'IBL nécessite une dissociation de l'autorité de validation scientifique et de l'autorité pédagogique. Notre recherche est compatible avec la position qu'un guidage insuffisant n'est pas efficace (Kirschner, et al., 2006) et plus précisément (Crahay, 2006) que le contrôle des objectifs, (donc la négociation des *questions* traitées), des activités, des caractéristiques des productions, les échéances et le *workflow*, la régulation des groupes, etc. doivent être clairement de la responsabilité de l'enseignant. Une récente méta analyse confirme l'efficacité réduite d'une investigation où le guidage est laissé à l'élève (Furtak, et al., 2012). Notre proposition permet de sortir de l'axe d'analyse traditionnel *peu* ou très guidé par l'enseignant (*"Teacher-Led, Traditional <->Student-Led Inquiry"* (Furtak, et al., 2012 p. 306)) pour distinguer un plan pédagogique où le guidage est très fermement assumé par l'enseignant et un plan scientifique où la dévolution est activement promue. Ce cadre étaye et rend possible la validation scientifique en référence à des ressources (plus) authentiques. Cela fonde l'élément de design ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant).

Ainsi l'IBL n'affaiblit pas le contrôle par l'enseignant, au contraire, il l'affirme clairement, mais change les modalités et les objets sur lesquels le contrôle s'exerce. Cela fonde la recommandation RDA3 : Transférer aux ressources la validation scientifique des connaissances, conserver l'autorité pédagogique et RD27 : L'autorité pédagogique inscrite en partie dans la structure du design encadre mais affirme la liberté des élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle.

Cette responsabilité de l'autorité pédagogique implique qu'il assume de nombreux rôles qui ont été décrits plus haut : un regard d'ensemble, la mise en place de la structuration technique (2a, 2b, 2c), sociale (3b) (notamment la structure coopérative 4f), et conceptuelle (1a, 1b, 1c, 2d, 2i, 4d, 4e). Il est le garant face à l'institution (2j, 4d) et assure la supervision conceptuelle (2f, 2i, 2j)

et la régulation (2i, 3b, 4b, 4e), il fixe les délais (3a, 3d), administre les évaluations (3c, 5c), régule les interactions (3b, 4f) et applique les sanctions quand c'est nécessaire.

L'analyse des données a mis en évidence le rôle décisif des interventions de l'autorité pédagogique dans le rôle d'évaluateur (notamment les modalités de l'évaluation formative et du feed-back dans l'espace d'écriture partagé), de gestionnaire des échéances, de garant des savoirs face aux objectifs curriculaires et dans le paradigme, de responsable du pilotage conceptuel et du rythme de progression.

Dans ce design abstrait, les trois fondements pédagogiques forment les sommets avec les trois recommandations d'attitude (RDA). Ces attitudes sont des objectifs qui ne se produisent pas spontanément, elles résultent de l'activité de l'enseignant. Il nous faut ajouter un niveau à ce design abstrait qui synthétise nos recommandations concernant l'action de l'enseignant pour piloter le dispositif IBL.

### 8.4.1 Piloter l'IBL : synthèse en trois Recommandations de Design (RD) radiales

Aussi nous avons synthétisé nos propositions dans trois recommandations concernant le *pilotage* de l'investigation vers ces attitudes et les aspects de la connaissance scientifique visés. Elles peuvent être représentées dans cet hexagone (cf. Figure 42) comme reliant un des fondements pédagogiques aux effets éducatifs et en particulier aux aspects des connaissances scientifiques visés. Nous les nommerons RD *radiales*. Cette représentation se rapproche d'une *conjecture map* (Sandoval, 2004) circulaire, et pourrait servir de base pour y ajouter des indicateurs et former cet artefact conceptuel typique de DBR. Nous pensons qu'il serait important de commencer l'itération suivante d'un tel IBL par une telle réalisation qui améliorerait la conceptualisation et guiderait la réalisation.

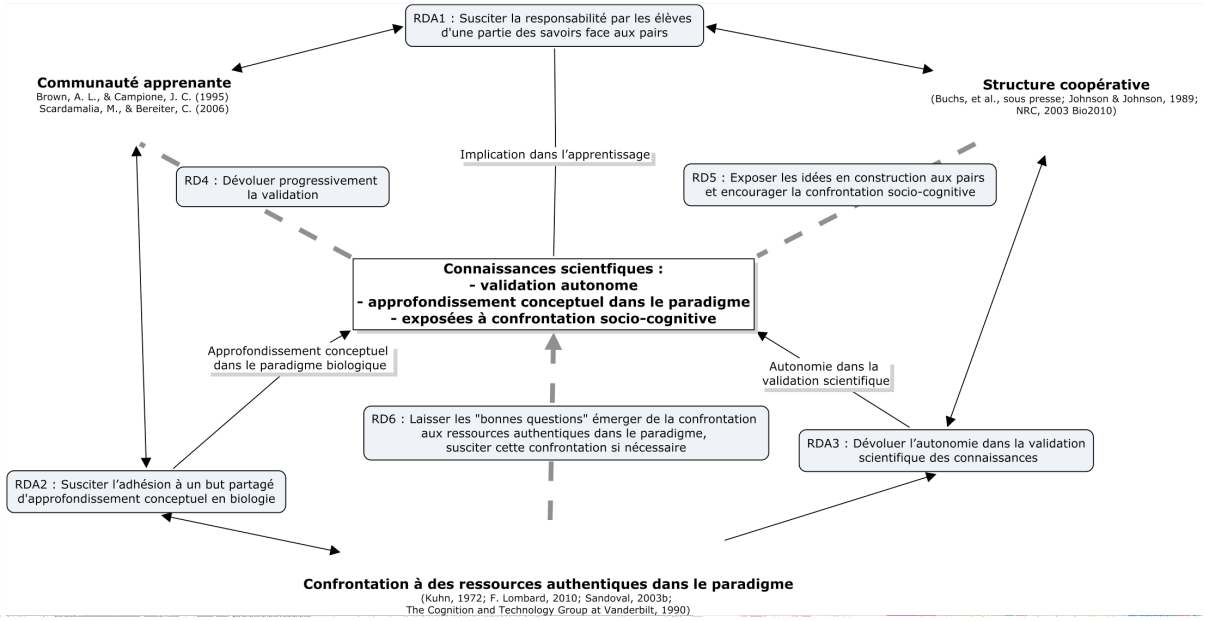



Figure 42 : Les principales recommandation de pilotage complètent le design abstrait en reliant les fondements pédagogiques, les recommandations d'attitude et les connaissances scientifiques. Cette figure est reproduite en section 10.11 Annexe : Report des figures en pleine page (p. 390)

Nous allons discuter ces trois recommandations fondamentales concernant le pilotage.

#### RD4 : Dévoluer progressivement la validation

Nous considérons qu'une connaissance que possède un élève n'est scientifique que dans la mesure où elle est validée par l'élève lui-même. Une complète validation scientifique est rarissime et une autonomie dans validation – même très partielle – serait un progrès considérable par rapport à un apprentissage de savoirs validés par le maître qui est le cas le plus fréquent (Bereiter, 2002; De Vecchi, 2006; Giordan, 1998; Kuhn, 1972). Cette recommandation RD4 conduit l'élève à se détacher de la validation par l'enseignant (et de la dépendance à son autorité scientifique) pour la chercher auprès de ressources plus authentiques. Le doute sur la compétence des pairs avec lesquels l'apprenant interagit suscite des confrontations socio-cognitives qui ne peuvent avoir lieu avec l'enseignant dont la compétence est indiscutée (Bourgeois & Buchs, 2011). L'élève doit donc être incité à progressivement assumer la validation au fur et à mesure qu'il devient capable de trouver – dans l'autorité scientifique des ressources qu'il sait évaluer – les éléments lui permettant de sélectionner ce qu'il va assumer de présenter aux pairs comme savoirs valables.

RD5 : Exposer les idées en construction aux pairs et encourager la confrontation socio-cognitive

Notre définition de la science repose sur l'argumentation logique des liens entre les données, les hypothèses dans lesquelles elles s'inscrivent, les conditions de mesure et les affirmations (Bromme, et al., 2008; Toulmin, 1958) et considère que le débat dans la communauté scientifique (la publication, les conférences, le *peer-review*) est un processus central de la validation des savoirs. Ce débat est trop souvent absent de l'enseignement de sciences (Osborne, 2010).

D'autre part, plusieurs champs de recherche en science de l'éducation et en psychologie sociale mettent en évidence que l'apprentissage résulte de confrontations. Toutes ces recherches ont conduit à implémenter une structure coopérative basée sur la responsabilité individuelle et l'interdépendance positive favorisant les confrontations d'idées (notamment le partage des chapitres en sous-thèmes, la responsabilité de chacun face aux autres, de la synthèse d'une partie des savoirs, des présentations assumées face aux pairs, la production d'un document commun de préparation aux examens, la confiance et la sécurité, etc.). Alors même que ces dimensions n'ont été que partiellement développées, nos résultats (écriture partagée, connaissances adéquates obtenues sans validation de l'enseignant, crainte réduite d'exposer leurs idées, stratégies de sélection de ressources manifestées, etc.) étayent la recommandation RD5 de proposer des opportunités abondantes, d'exposer leurs idées oralement et par écrit. D'ailleurs (Tanner, 2009) montre une corrélation positive entre le temps de parole des élèves et l'apprentissage et nos résultats montrent bien l'effet bénéfique pour les *exposants* des présentations aux pairs : conscience de la qualité et pertinence de leurs connaissances relevées par les élèves dans les questionnaires, affinage des questions et augmentation de la complexité épistémique observées après ces présentations (activités III-IV).

Nous avons discuté du paradoxe dans l'autonomie de la validation scientifique : elle est fondamentalement un processus cognitif dans l'individu (la connaissance est scientifique dans le mesure l'individu sait et éprouve les raisons qui justifient cette croyance) mais elle est aussi un processus social : elle nécessite la confrontation aux autres pour éprouver la solidité de ces justifications et élargir leur(s) base(s). Ce paradoxe est manifesté dans l'articulation entre les dimensions individuelles et sociales de l'abstraction IBL proposée : si l'objectif est clairement la connaissance scientifique de chacun, cette RD5 incite à ces confrontations (assumer de soumettre ses idées aux autres par écrit et oralement) nécessaires pour une connaissance scientifique et efficace pour l'apprentissage. Cela fonde la RD20 : Les élèves assument la responsabilité de la synthèse écrite d'un sous-thème dans un document vital pour le groupe. L'apprentissage de l'autonomie dans la validation repose sur des confrontations intra-texte (entre les parties de son propre texte), intertextes (avec les textes des pairs), extratextes (avec des textes publiés) et par les présentations. Comme le chapitre de l'immunologie n'offre que peu

d'expérimentation, la plupart des idées débattues sont issues des ressources bibliographiques, mais elles ont intégré les données issues de l'expérimentation directe par les élèves, comme de l'*expérimentation par procuration* que sont les ressources authentiques. Les productions des élèves sont donc tout de même – un peu – plus qu'un *état de l'art*. Nous pensons par ailleurs que l'expérimentation s'appuie forcément sur un large ensemble de concepts qui forme le paradigme dans lequel elle prend son sens et que la construction de connaissance qui justifie la publication provient très souvent de l'intégration des données empiriques à un ensemble cohérent construit à partir d'expérimentations que le chercheur n'a pas faites.

L'exposition des idées aux pairs n'est pas seulement une occasion personnelle de clarifier, elle est une forme – minimale peut-être, mais manifestement efficace quand même – de *débat* qui n'est pas sans rapport avec le processus de *peer-reviewing* dans les présentations aux conférences. De même, la brochure défendue devant les pairs tire une partie de ses effets bénéfiques des mécanismes de *débat* conduisant à la publication scientifique.

RD6 : Laisser les "bonnes questions" émerger de la confrontation aux ressources authentiques dans le paradigme, susciter cette confrontation si nécessaire.

Cette recommandation se manifeste dans l'articulation de l'authenticité, la focalisation explicite sur le paradigme de la biologie, la confrontation à des ressources de qualité hétérogène et la règle d'unicité conceptuelle des questions et réponses (RD10) qui s'est avérée remarquablement simple et puissante. Nous allons en faire une synthèse et les discuter séparément.

### 8.4.2 Quelques recommandations de design suggérant comment articuler le guidage et l'approfondissement à la dévolution

L'investigation est – par définition – guidée par les questions, aussi la manière dont elles sont construites progressivement détermine ce qui va être investigué. Nous avons défini les « bonnes » questions en référence à celles du paradigme scientifique (Kuhn, 1972), et nos résultats confirment que l'IBL conduit à l'affinage conceptuel (Hintikka, 1992) des questions. Ce sont donc les conditions qui produisent l'amélioration des questions qui doivent être très précisément organisées, et la médiocrité des premières questions doit plutôt être vu comme un point de départ d'un parcours conceptuel qu'un problème ou l'expression de lacunes.

Ainsi le contrôle du processus de sélection des questions à travers lesquelles cet affinage se produit est un paramètre crucial pour garantir la couverture curriculaire et l'adéquation au paradigme. Un résultat important de cette recherche est que ce processus peut être guidé (dans une structure IBL telle que nous l'avons définie plus haut) par l'authenticité des ressources rencontrées (CJ1) et la simple mais puissante règle d'unicité des questions-réponses (RD10).

Nous allons discuter d'abord les effets de l'authenticité des ressources puis ceux de l'unicité des questions-réponses sur le développement de connaissances scientifiques.

*L'authenticité des ressources comme guidage de l'affinage conceptuel*

Nous pensons qu'une contribution originale de cette thèse (nous n'en avons pas trouvé trace dans la littérature) est d'avoir mis en évidence l'importance de l'authenticité des ressources et la référence au paradigme dans le guidage naturel du parcours d'investigation vers les questions structurant ce paradigme et donc les concepts importants.

Nous avons discuté le concept d'authenticité et avons proposé de la considérer comme une variable permettant de concevoir une progression vers les bonnes questions du paradigme de la biologie, qui conduisent à investiguer et produire des savoirs pertinents à ce paradigme. Poser l'authenticité en termes de degré permet de proposer des milieux (Brousseau, 1998) d'authenticité adaptée aux élèves de divers niveaux. Cette authenticité adaptée peut constituer un étayage stimulant, c'est-à-dire qu'il suscite des confrontations socio-cognitives dans la zone

proximale de développement. Cela permet aussi d'organiser l'apprentissage des sciences en termes de progression de la capacité à affronter l'authentique complexe. La progression des compétences d'intelligence informationnelle permet de remonter plus loin vers la source des savoirs, de mieux mettre en perspective et interpréter les données sur lesquelles ces savoirs reposent, pour développer les attributs métacognitifs (l'épaisseur scientifique) des connaissances.

La réflexion sur l'authenticité des ressources auxquelles les élèves sont confrontés dans ce projet nous a conduit à mettre en évidence comment un processus impliquant des allers-retours entre des questions d'investigation qui s'affinent et des ressources plus authentiques peut conduire les élèves vers les questions et les concepts structurants dans le cadre d'un paradigme donné. Nos résultats montrent que comme ce processus (que nous avons nommé la « force centripète conceptuelle ») conduit l'investigation vers ces « bonnes » questions, il introduit les élèves dans le paradigme courant. Il est une force d'acculturation en somme. Il donne du sens à une approche fondée sur la construction progressive des questions. Nous la formalisons comme la recommandation de design : RD15 : L'effet centripète peut assurer que des questions mal posées se développent vers les bonnes questions du paradigme.

*La focalisation explicite sur la discipline de référence*

Une deuxième recommandation d'attitude (RDA2) est l'importance de susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie. La focalisation de l'ensemble du dispositif sur l'apprentissage de concepts approfondis en biologie délimite de fait un cadre dans lequel l'investigation prend place. La recherche d'authenticité des ressources pour guider vers les « bonnes » questions manifeste ce souci de la focalisation sur la biologie est donc une réponse à l'inquiétude de nombreux enseignants que l'investigation ne porte pas sur le champ curriculaire et les questions du paradigme : dans un dispositif d'investigation (tel que synthétisé à la Figure 41), la conjecture CJ1 est confirmée, une confrontation à des ressources authentiques conduit les élèves vers les questions qui définissent le paradigme dans lequel s'inscrivent ces concepts (CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources).

Nous observons que ces conclusions divergent par rapport à de nombreux travaux qui défendent une investigation "open-ended" sans but défini ou en tous cas sans se préoccuper de l'adéquation rigoureuse aux curricula (Scardamalia & Bereiter, 1992; Zhang, et al., 2007). Nous défendons une vision plus disciplinaire (verticale plutôt que transversale) de l'investigation et pensons que cette différence est critique du point de vue de l'acceptabilité auprès des enseignants et dans les écoles. Peut-être même explique-t-elle en partie qu'on ne trouve pas beaucoup d'exemples d'IBL dans le secondaire supérieur et à l'université, même chez des enseignants très innovants et engagés ?

L'insuffisance du guidage est l'argument central des opposants de l'investigation, (Kirschner, et al., 2006) et (Furtak, et al., 2012) relèvent notamment que l'investigation guidée par l'enseignant est plus efficace. Plutôt que d'opposer le guidage par l'enseignant à celui par les élèves, nous proposons ici une forme de guidage qui permet de garantir la couverture curriculaire, l'adéquation au paradigme tout en respectant la dévolution. La séparation de l'autorité pédagogique et scientifique rend possible un cadrage du champ investigué par la négociation des questions en référence aux objectifs partagés avec les élèves, alors que la confrontation aux ressources authentiques conduit vers l'approfondissement des concepts structurants, respectant ainsi la responsabilité des élèves sur leurs apprentissages tout en les inscrivant dans le cadre scolaire.

Veiller à ce que les élèves aient les « bonnes » questions (celles du paradigme et assurant la couverture du programme) se traduit par trois recommandations de design :

RD7 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources

RD8 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs

RD9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves

*La nécessité de ressources de qualité diverses, y compris des médiocres*

La recommandation RD7 peut sembler en contradiction avec un élément de design qui pourtant a été bien validé pour donner du sens à la validation par les élèves : ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène. Le paradoxe se résout si l'on considère que la *non prescription* par l'enseignant des ressources rend possible le processus de sélection qui oblige à comparer, juger (activités de haut niveau (Bloom, et al., 1956)) pour valider, mais surtout transfère la responsabilité de ce choix auprès des élèves. Obligés d'aller chercher ailleurs qu'auprès de l'enseignant l'autorité scientifique, nos résultats suggèrent qu'ils s'appuient sur des ressources authentiques qui fournissent des réponses aux questions, rendant possible l'effet centripète conceptuel. Ainsi l'accès à des ressources de qualité variée oblige à exercer le jugement et les questions négociées conduisent vers les ressources du paradigme (RD26 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène). La RD7 détermine surtout la manière dont le feed-back de l'enseignant oriente vers ces ressources en indiquant des contradictions des textes avec ces ressources, alors que l'ED15 souligne l'importance de la liberté laissée aux élèves d'accéder aux ressources de leur choix.

*La règle d'unicité conceptuelle des questions et réponses (RD10)*

Nous pensons qu'une contribution originale de cette thèse dont nous n'avons pas trouvé trace dans la littérature est la règle d'*unicité conceptuelle des questions réponses* dans le pilotage de l'investigation. Nos résultats (notamment l'analyse du développement des questions Cf. Figure 32) suggèrent fortement que cet élément de design (ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes) est simple et puissant pour conduire les élèves à l'affinage conceptuel et garantir que les questions pilotent l'investigation. Il contribue de manière cruciale à produire l'amélioration des questions, leur affinage au fur et à mesure que la compréhension s'approfondit. Il évite également qu'une abondance de ressources faciles à trouver dilue l'investigation et oblige à l'affinage conceptuel. Aussi nous le proposons comme recommandation de design sans modification.

RD10 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes.

Cette vision synthétique – exprimée dans le design abstrait qui relie les fondements pédagogiques, les recommandations RDA et RD de pilotage – constitue une proposition cohérente pour développer, observer et guider des implémentations d'IBL. Elle exprime une posture didactique en définissant des attitudes et des fonctionnements visés (des objectifs en somme) sans se prononcer sur les moyens de les atteindre.

### 8.4.3 Les autres recommandations qui complètent la structure du design abstrait

Nous reprenons rapidement les éléments de design dont la validation a été discutée pour les traduire en recommandations de design. Nous les avons regroupées en deux séries qui seront discutées séparément :

- Evaluation formative et feed-back par confrontations RD21 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance, RD22 : Des itérations nombreuses de (co) écriture

guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances, RD23 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes, RD24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation, RD25 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité.

- Rapport aux élèves comme partenaires, alignement des activités, transparence, confiance : RD9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèvesRDA2 : Susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologieRD13 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables, la dimension négociation de RD8 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs qui articule la motivation, l'engagement dans le choix et l'inscription dans un cadre institutionnel et paradigmatique.

Discutons d'abord la responsabilité de piloter les phases en prescrivant des activités et de la façon d'identifier les moments opportuns de développement conceptuel.

Nous avons vu (Tableau 8) que, d'après nos données, l'investigation passe par trois moments i) une première phase d'exploration, ii) une deuxième phase d'approfondissement conceptuel iii) une troisième phase d'institutionnalisation. Nous avons vu que les moments où les élèves écrivent sont très dépendants des interventions de l'enseignant pour déclencher cette écriture (activités III d'échéance et IV de présentation) et c'est à travers cette écriture abondante et itérative que se manifestent et se réalisent dans le wiki des processus de conceptualisation en cours chez les élèves. L'effet d'étayage stimulant des interventions de l'enseignant qui fixe des délais, fait passer à l'activité suivante semble toutefois clairement marquer la progression conceptuelle.

*Pilotage et délimitation conceptuels*

a) L'enseignant délimite principalement par la négociation des questions le *cadre* dans lequel l'investigation prend place, c'est-à-dire ce qui va être appris.

Nos données sur le suivi des questions confirment la conjecture qu'elles guident effectivement la construction de connaissances (ED16), que la manifestation de l'autorité pédagogique dans le guidage peut maintenir la dévolution sans renoncer au guidage (CJ3). On peut le dire autrement : l'affinage des questions par les élèves confrontés à des ressources authentiques n'exclut pas le pilotage conceptuel par l'enseignant à travers la négociations des questions qui sont investiguées (global) alors que l'affinage des questions résulte d'abord de l'interaction des élèves avec les ressources. Nous avons discuté ce point un peu plus précisément avec la distinction entre deux formes de pilotage des questions (global – affinage) dans la question Q2C.

Le transfert de l'autorité scientifique vers les ressources repose sur une posture de l'enseignant qui renonce fermement à *donner les réponses* (ce serait un argument d'autorité, rendant impossible la connaissance scientifique et le conflit socio-cognitif, l'argumentation qui valide les connaissances). Les réponses des élèves sont discutées pour leur cohérence avec les autres ressources authentiques et leur pertinence épistémologique au paradigme de la biologie. L'enseignant intervient par des feed-back qui suscitent le conflit cognitif notamment en indiquant des incohérences intra-texte, intertextes et entre les productions des élèves et des ressources authentiques vers lesquelles il renvoie de ce fait les élèves : ils sont ainsi confrontés à des ressources authentiques dans le paradigme.

Ainsi la responsabilité pédagogique de l'enseignant, son contrôle ultime sur l'activité sont confirmés malgré la tension avec la dévolution des questions discutée en section 7.2 (p. 245) et

son retrait de l'autorité scientifique au profit des ressources discuté en section 7.3 (p. 276). Son contrôle est manifesté dans les nombreux rôles qu'il assume : notons en particulier 1b Organisateur conceptuel, 2i Garant de l'adéquation du texte aux consignes et 2j De l'adéquation conceptuelle aux paradigmes de recherche et scolaires, 3a Responsable des échéances, 3d Gestionnaire du rythme de progression, 4d Garant de l'exactitude par rapport paradigme scientifique, 4e Pilotage conceptuel, 4f Pilotage relationnel 5c Responsable de l'évaluation certificative. (cf. Tableau 5).

On voit que ses rôles portent principalement sur la responsabilité et le pilotage, exprimant son autorité pédagogique. Elle porte sur les principaux leviers de gestion qui sont les échéances, les présentations, les évaluations.

Ces responsabilités confirment que l'investigation dans un dispositif IBL n'est pas du tout absence de contrôle sur les savoirs et le déroulement (Hmelo-Silver, et al., 2007), une crainte souvent mentionnée en rapport avec l'investigation (Kirschner, et al., 2006). En effet, elle touche la question du contrôle qui est très sensible chez les enseignants (Veenman, 1984).

Nos résultats confirment que dans des scénarios d'inspiration constructiviste ou socio-constructiviste, l'autorité pédagogique doit être fermement établie. L'enjeu est le plan sur lequel s'exerce le contrôle (Tobias & Duffy, 2009) : faut-il guider par la structuration du savoir présenté ou faut-il guider par le milieu où se produit l'activité de l'élève pour développer leur capacité à structurer leurs connaissances ?

Plutôt que par les présentations du maître, la création de ressources simplifiées pour les élèves, les recommandations de design que nous présentons définissent un guidage ferme par l'enseignant, mais à travers les conditions du milieu (questions traitées, ressources affrontées, responsabilité de sélection, de synthèse, d'écriture et de présentation aux pairs). L'analyse du dispositif et en particulier des résultats en fin d'année nous situent clairement dans le second terme, et fondent la recommandation RD27 : L'autorité pédagogique inscrite en partie dans la structure du design encadre mais affirme la liberté des élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle.

Cependant nos résultats confirment qu'un passage progressif de l'un à l'autre est possible, et – plutôt qu'une position idéologique – met l'accent sur le degré nécessaire à un moment donné du développement des élèves et distingue la nature de l'étayage structurant, ou stimulant. Nous recommandons donc un étayage adapté aux possibilités de l'élève à un moment donné, tout en posant l'autonomie comme horizon à atteindre. Cet étayage s'effaçant progressivement détermine les recommandations RD4 : Dévoluer progressivement la validation des savoirs recherchés et RD11 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré.

b) Nos résultats confirment aussi une approche du pilotage « cognitiviste » en fonction de la progression conceptuelle de l'investigation et qui adapte et modifie les activités afin que les élèves atteignent ces étapes conceptuelles (Altet, 1993) plutôt qu'une rigide succession de tâches en fonction du temps. C'est donc l'enseignant qui prescrit des activités aux participants et propose – quand ils sont prêts à en assumer la responsabilité – les activités, les rôles, les ressources, les groupes qui permettent l'apprentissage. Pour cela il a besoin d'indicateurs ; nous avons pu montrer que la colonisation du champ conceptuel et la complexité épistémique sont des indicateurs pertinents pour passer d'une phase de l'investigation à la suivante.

RD16 : La transition des activités peut être pilotée en observant la colonisation du champ conceptuel et l'émergence de la complexité épistémique.

Deux moments d'intervention décisive de l'enseignant sont i) la transition de l'activité I (susciter des questions) vers II (approfondir les questions) et ii) la transition vers les activités IV de

présentation finale aux pairs, et V de révision finale et d'institutionnalisation. Leur contrôle est discuté plus bas.

*La construction d'un contrat didactique IBL, durée, communication minimaliste*

Nous avons aussi observé dans l'analyse *yearlong* que le dispositif ne produit pas autant de complexité dans les premières investigations (septembre) que celles de la fin d'année (mars) et nous avons interprété cette durée comme le temps nécessaire à la mise en place d'un contrat didactique aussi radicalement différent à travers les activités et le constat des effets éducatifs (communication *minimaliste* (Carrol, 1998)). C'est aussi le temps pour le développement de compétences d'intelligence informationnelle et une implication progressive, ce qui sera discuté plus bas.

Nous avons discuté comment l'activité doit être explicitement et effectivement focalisée sur l'approfondissement conceptuel en biologie (RDA2). Les discussions métacognitives sont mieux reçues une fois que les élèves ont pu constater l'efficacité des stratégies appliquées. Ainsi au début de l'année, l'ensemble du dispositif est présenté aux élèves comme une méthode permettant d'apprendre efficacement des concepts approfondis en biologie. Le fait que ces apprentissages personnels soient mieux réalisés grâce à la mise en place d'une communauté d'apprentissage guide effectivement les choix de l'enseignant, mais n'est mis en évidence avec les élèves que lorsque le dispositif a fait ses preuves (communication *minimaliste* (Carrol, 1998)). Il en est de même pour les autres aspects métacognitifs, transversaux, et l'institutionnalisation des stratégies d'apprentissage.

Nous reportons donc les éléments de design concernant la durée d'élaboration du contrat didactique (ED8) et en particulier le fait que ces changements résultent des effets perçus par les élèves plus que des consignes (ED7) comme recommandations :

RD11 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré.

RD12 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves.

### 8.4.4 **Transformation du rôle de l'enseignant**

La troisième recommandation radiale du design IBL décontextualisé et généralisé de la Figure 41 est la séparation de l'autorité pédagogique de l'autorité scientifique de validation. RDA3 : Transférer aux ressources la validation scientifique des connaissances, conserver l'autorité pédagogique.

De manière plus générale, le rôle de l'enseignant est fortement transformé pour permettre l'investigation IBL : il assume l'autorité pédagogique et non scientifique. Le développement de l'ensemble de ces compétences et le changement de posture prennent du temps, ne peuvent pas être attendus d'un enseignant débutant et ne sont probablement pas souhaités par une majorité d'enseignants. Le dispositif étudié n'est pas proposé comme un modèle à déployer – ce n'était pas l'objectif rappelons-le – mais il est proposé comme une preuve de faisabilité et surtout comme une réalisation qui a permis de vérifier les conjectures qui y étaient incarnées et fonder des recommandations de portée plus générale. Ce sont donc les recommandations qui émergent dont nous voulons faire la synthèse et montrer les conséquences du point de vue de l'enseignant.

Ce type d'IBL remet en question plusieurs des rôles habituels de l'enseignant, notamment sur le plan du contrôle qui est crucial pour les enseignants novices et expérimentés (Veenman, 1984) :

- Renoncement à l'autorité scientifique. Alors que l'IBL exige une excellente connaissance du domaine et de sa structure conceptuelle, le contrôle des savoirs présentés et validés doit être transféré aux expériences et autres ressources – le milieu sens

(Brousseau, 1998) – et négocié par rapport aux objectifs. C'est une condition pour permettre la validation par l'élève qui ouvre la porte à la connaissance scientifique. Les connaissances parfois extraordinairement approfondies que les élèves développent peuvent être perçues comme une menace, un affront à l'autorité scientifique du maître ou un succès par l'enseignant s'il vise l'autonomisation des élèves.

- Déplacement du plan sur lequel s'exerce le guidage enseignant : contrôle indirect par les questions et les ressources du milieu plutôt que par ce qu'il diffuse. L'IBL demande un contrôle – négocié– des questions parce que cela cadre et détermine ce qui pourra être appris. Une part important du guidage est transférée dans la structure du dispositif, telles que la structure des documents, la règle d'unicité des questions-réponses.
- Une compétence de référencement des savoirs. Les principales formes d'intervention explicite de l'enseignant consistent à confronter l'élève à des ressources expérimentales ou bibliographiques, qui suscitent le conflit socio-cognitif. Il ne suffit plus de savoir, l'enseignant doit pouvoir fournir à l'élève de quoi construire sa propre connaissance, et donc savoir retrouver au moment crucial les ressources adaptées. L'IBL demande donc une gestion de ressources très étendues et orientées vers la mise à disposition rapide et efficace. L'enseignant doit pouvoir accéder et guider les élèves rapidement et effectivement dans un très large répertoire de ressources expérimentales et bibliographiques (Rôles 2c gestionnaire de ressources bibliographiques et iconographiques, 2d *broker* de ressources, documentaliste, etc.).
- Renoncement au contrôle des cheminements conceptuels. Pour accompagner des cheminements variés des élèves vers les concepts structurants (Wiggins & McTighe, 2000; Zabel & Gropengiesser, 2011), l'IBL demande une excellente vision d'ensemble de la structure des champs conceptuels à étudier, une identification des concepts structurants et de leur découpage, et même de l'épistémologie de la discipline : (Rôles 1b Organisateur conceptuel, 2j Garant de l'adéquation conceptuelle aux paradigmes de recherche et scolaires, 4e Pilotage conceptuel).
- Renoncement au contrôle du discours en classe : l'IBL nécessite l'expression des élèves, et donc une posture en retrait de l'enseignant qui laisse une très large place à l'expression écrite et orale des élèves pour permettre le conflit socio-cognitif (Buchs, et al., 2012; Johnson & Johnson, 1989), pour soutenir la construction de la pensée (Bereiter, 2002; Scardamalia & Bereiter, 2006) et pour le débat (Darnon, Butera, & Mugny, 2008) qui permet la validation scientifique.

*Organiser l'approfondissement conceptuel doit être pensé dans la durée*

Nos résultats sur le développement de la complexité épistémique et l'avis de l'expert sur l'adéquation au paradigme scientifique confirment que cet approfondissement se produit bien avec les éléments de design décrits, qu'il est pertinent au paradigme et adéquat par rapport aux curricula.

Nos résultats ont bien mis en évidence que la durée dans laquelle s'inscrit l'IBL est un paramètre pédagogique important. Nos résultats suggèrent que l'investigation conduit dans la durée vers la connaissance de concepts complexes et que la complexité épistémique n'apparaît pleinement que dans la seconde ou troisième semaine (8 à 12 périodes scolaires et beaucoup de travail à domicile). Nous l'avons interprété comme la nécessité d'une certaine durée d'investigation pour que la compréhension approfondie des phénomènes étudiés se construise. (Songer, 2006) confirme que l'investigation prend du temps pour déployer ses effets et que la brièveté de nombreuses recherches sur l'investigation n'a peut-être pas permis d'en étudier les potentiels d'apprentissages scientifiques qui se développent sur plusieurs semaines. Nos résultats suggèrent

qu'une investigation qui ne durerait que quelques heures produirait surtout des descriptions – une sorte de compilation – et ne développerait probablement pas tout son potentiel d'apprentissage. La durée est en accord avec (Etkina, et al., 2008) qui montre que développer des compétences scientifiques nécessite de 5 à 8 semaines selon les compétences visées.

Nous avons interprété cette durée comme le temps nécessaire au développement de compétences d'intelligence informationnelle et une implication progressive (et à la mise en place d'un contrat didactique comme discuté plus haut). La structure holistique du design manifeste ces changements importants à l'intérieur de chaque individu, mais aussi dans la structure sociale du groupe. Comme ces changements sont liés, ils prennent du temps à se construire dans une progression où chaque progrès sur un aspect permet à d'autres aspects d'évoluer, ce qui s'inscrit forcément dans la durée.

Nous estimons que cet approfondissement conceptuel résulte d'une combinaison d'éléments de design parmi lesquels les plus centraux sont :

- Une structure conduisant les élèves à assumer la responsabilité d'une partie du champ curriculaire, à partager avec leurs pairs la compréhension des phénomènes étudiés au cours de l'investigation dans un espace d'écriture partagé et lors de présentations. (RDA1, RD5, RD19, RD18).
- Assumer la responsabilité de la sélection parmi des ressources abondantes, de la validation et de la synthèse écrite d'un sous-thème dans un document vital pour le groupe. Assumer la présentation orale devant les pairs. Assumer une ampleur de travail très au-dessus de ce qui est habituel (RDA3, RD7, RD20).

*Contrôle des transitions entre activités pour susciter le changement de phase*

Nos résultats montrent clairement des phases (distinguables par la colonisation du champ conceptuel, la complexité épistémique, etc.) dans l'investigation, correspondant à des moments cognitifs différents :

- une première phase *d'exploration* où le nombre de questions évolue très vite, les questions sont surtout de vocabulaire, de définition et de structures, la complexité épistémique faible
- une deuxième phase *d'approfondissement* conceptuel où la complexité épistémique augmente, les questions changent de formulation mais varient peu en nombre, l'ampleur du texte augmente
- une troisième phase *d'institutionnalisation* où les termes sont définis, la structure révisée, les doublons éliminés, le statut de la page passe d'interne au groupe d'investigation à public pour la classe.

Nos résultats suggèrent que les phases de l'investigation et de développement conceptuel sont déclenchées par les activités imposées par l'enseignant.

Un exemple d'intervention décisive de l'enseignant et dont nous allons discuter les conditions est la transition de l'activité I (susciter des questions) vers l'activité II (approfondir les questions).

L'activité I doit être pilotée de manière à susciter la dévolution des questions et à en faire apparaître un grand nombre et doit être poursuivie jusqu'à ce que les élèves soient bien impliqués dans leurs questions. La qualité des questions (adéquation aux paradigmes de recherche ou scolaires) n'est pas critique. Plus que l'exhaustivité de la liste des questions, c'est à ce stade principalement l'investissement par les élèves des questions qui est déterminant. Nous pouvons proposer une recommandation de design :

RD14 : L'enseignant doit intervenir pour qu'une question au moins colonise chaque secteur important du champ conceptuel et évite les zones d'ombre conceptuelle.

Cela fonde aussi la première partie de la recommandation : RD16 : La transition des activités peut être pilotée en observant la colonisation du champ conceptuel et l'émergence de la complexité épistémique, et la temporalité RD17 : Laisser aux élèves le choix des thèmes et des questions au début pour susciter l'engagement et la motivation, puis affirmer le guidage des questions plus directement en référence aux objectifs et à la structure des savoirs.

L'autre moment où l'intervention de l'enseignant est décisive est la finalisation de l'investigation et la mise en place de l'institutionnalisation. Nos résultats (reformulation des questions, sursaut de l'intensité d'écriture, accroissement de la complexité épistémique cf. Figure 40) révèlent que l'activité IV de présentation finale aux pairs, et V de révision finale, d'institutionnalisation conduisent à un approfondissement des savoirs en termes de mécanismes sous-jacents, c'est-à-dire une adéquation au paradigme de la biologie. Cela confirme l'importance de cette transition vers l'activité V pour faire aboutir l'apprentissage. L'enseignant est naturellement responsable de déclencher ces transitions d'activités et au moment opportun : la montée de la complexité épistémique est une condition pour lancer l'institutionnalisation et l'examen qui clôt l'investigation. Cela fonde la deuxième partie de la recommandation RD16 : La transition des activités peut être pilotée en observant la colonisation du champ conceptuel et l'émergence de la complexité épistémique.

Nos résultats suggèrent que l'investigation dans cette phase pourrait continuer indéfiniment. Aussi la transition vers les activités IV et V permettant l'institutionnalisation doit être déterminée par les limites de temps que le programme scolaire laisse.

En somme, dans son rôle de responsable pédagogique, une responsabilité cruciale (rôle 3d) de l'enseignant est de déclencher ces transitions d'activité et d'en choisir le moment opportun sur la base du développement des questions et de la complexité épistémique.

*Artefact conceptuel supportant l'investigation : (in)dispensable*

La responsabilité de l'enseignant est bien sûr de mettre en place les dimensions technologiques : le dispositif est étayé par un espace d'écriture partagé (artefact technologique wiki), des bases d'images et de ressources.

Dans notre perspective, l'intégration des technologies les intègre au point qu'elles ne sont pas traitées séparément des autres éléments de design et s'effacent (Lloyd, 2005), aussi nous avons peu souligné les rôles des technologies. Nous pensons que c'est l'usage que l'on fait des artefacts technologiques qui détermine les effets des dispositifs technopédagogiques. Pourtant nous avons discuté plus haut que les artefacts ne sont pas transparents : leurs affordances influencent les usages dans le mouvement d'instrumentalisation - instrumentation (Rabardel, 1995).

Nous avons vu que le wiki contribue à étayer les trois options pédagogiques fondamentales (Communauté apprenante, Structure coopérative, Authenticité dans le paradigme) et étaye les trois recommandations d'attitude centrales (RDA1 : Susciter la responsabilité par les élèves d'une partie des savoirs face aux pairs, RDA2 : Susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie, RDA3 : Transférer aux ressources la validation scientifique des connaissances, conserver l'autorité pédagogique). Il supporte la recommandation RD5 : Exposer les idées en construction aux pairs et encourager la confrontation socio-cognitive qui en découle.

Ainsi les artefacts technologiques utilisés : bases de ressources (images, sélection de liens thématiques, articles et ouvrages on-line) qui complètent les expériences faites en classe mais surtout le wiki, sont à la fois indispensables et *dispensables*. Ils supportent des artefacts conceptuels : c'est-à-dire qu'ils étayent des activités permettant la construction de connaissance

mais peuvent être écartés ensuite. Une fois l'institutionnalisation effectuée et la brochure imprimée, le vrai résultat est réalisé : les élèves ont acquis des connaissances. Alors le wiki peut être effacé, on peut s'en *dispenser*. L'artefact conceptuel a contribué de manière cruciale à réaliser un milieu qui favorise l'apprentissage scientifique, il est un reflet des connaissances, mais comme quand le sage montre la lune, il ne faudrait pas regarder le doigt : la brochure manifeste peut-être les *savoirs* que la communauté apprenante a synthétisé, mais elle n'est pas les *connaissances* que les élèves ont construites – dans leur tête.

En fait pour des raisons – évidentes ici – de recherche, nous avons conservé ces anciens wiki, mais rendu difficiles leur accès pour éviter que les élèves des années suivantes en recopient simplement le contenu.

Sur le plan de l'organisation et des relations de confiance notamment, le wiki a aussi constitué un espace partagé, accessibles à tout moment à chacun, où sont manifestés les résultats des négociations (questions notamment), les consensus, les choix, les échéances et les critères. Le choix du wiki correspond à la structure sociale du dispositif IBL : une structure coopérative et une communauté apprenante correspond aux affordances d'écriture ouverte, non hiérarchique, mais où la responsabilité de chacun est exprimée. Il manifeste, par son ouverture, la confiance entre les acteurs du dispositif et l'encourage par sa vulnérabilité. La vision pédagogique de l'erreur comme une étape et l'amélioration des connaissances comme un but, se manifeste dans la facilité de révision, la visibilité de l'état actuel et l'historique qui permet de revenir en cas de conflit. Il renforce ainsi le sentiment de sécurité. Cette vision de l'amélioration par le nombre des interventions est d'ailleurs aussi l'une des explications de la qualité des savoirs dans Wikipedia (Ball, 2007).

Globalement cela fonde la recommandation RD18 : Etayer le dispositif dans un artefact conceptuel permettant à tous les participants la co-écriture à distance, facilitant les révisions, et l'identification des changements.

## 8.5 Les apports notables, les limites, les perspectives

Nous présentons ici un résumé des apports et des recommandations qui nous paraissent les plus originaux et intéressants de cette thèse, en suivant la logique temporelle du projet.

*Preuve de faisabilité de l'IBL dans un contexte d'enseignement où les enjeux sont élevés*

Nous avons démontré qu'un IBL peut s'inscrire dans un contexte institutionnel ordinaire – et même pour conduire aux examens finaux où les enjeux sont élevés – et respecter les exigences temporelles et curriculaires pour produire des apprentissages adéquats dans l'institution, satisfaisant les élèves et les anciens élèves une fois en études à l'université. Ils ont démontré des compétences d'intelligence informationnelle qui ne sont pas habituellement évaluées, et des connaissances d'épaisseur scientifique intéressante, parce que construites par sélection, synthèse et confrontation aux autres. Elles sont donc validées dans des formes de confrontation aux pairs et des connaissances d'épaisseur scientifique intéressante ont pu être mises en évidence de manière convaincante. Le design a permis la dévolution aux élèves de la responsabilité de co-produire les savoirs curriculaires adéquats et pertinents au paradigme. Le design développe la capacité des élèves à affronter des ressources complexes, à développer des stratégies de recherche, de sélection et de synthèse efficaces et transposables ultérieurement à l'université. Le dispositif a produit une implication exceptionnelle des élèves (l'ampleur des textes produits, leur approfondissement et la complexité des textes académiques exploités) qui suggère que les élèves ont pris goût à la *saveur des savoirs* développés.

*Une définition de la connaissance scientifique basée sur la validation sans l'enseignant*

La conceptualisation de la science d'abord comme une validation individuelle, établie par confrontation sociale est un fondement de l'IBL. Séparer la validation de l'autorité du maître a permis de poser la validation autonome comme première étape de l'épaisseur scientifique. Cela a permis de résoudre la tension entre conduire les élèves vers les savoirs prescrits curriculairement et développer leurs connaissances scientifiques résultant par un processus de validation individuel en référence aux données, mises en perspectives et discutées. La référence à l'expérimentation repose sur la manipulation ou sur les expérimentations rapportées dans les documents authentiques. En effet cela rend possible des designs qui accompagnent l'élève dans la validation progressivement autonome par rapport à l'enseignant. Cette autonomisation ouvre la porte à des degrés de scientificité croissants en fonction des ressources sur lesquelles elle s'appuie.

*Une conceptualisation de l'IBL qui génère des observables pertinents et permet la description d'un modèle abstrait structuré*

Nous proposons un *design abstrait* structuré par trois recommandations de design qui sont fondées sur trois fondements pédagogiques. Ce design abstrait met en évidence des variables pertinentes pour étudier et piloter les dispositifs d'investigation : la responsabilité face aux pairs d'une part des savoirs, l'autonomie dans la validation, les confrontations socio-cognitives notamment avec des ressources authentiques. Il structure une description plus détaillée en termes applicables dans un contexte plus large.

Nous pensons que nos résultats confirment la pertinence de la mesure de *complexité épistémique* comme variable intermédiaire pour refléter l'approfondissement dans le paradigme scientifique. Elle permet de mesurer la progression, de comparer des interventions, de guider le pilotage ou la conception de designs. Sa pertinence est peut-être limitée à la biologie où la question centrale concerne les mécanismes sous-jacents.

La conceptualisation d'une *authenticité* graduée des ressources rend possible une progression vers l'authenticité et la validation scientifique en référence à des ressources (plus) authentiques. Leur rôle dans le guidage vers les concepts structurants (la « force centripète conceptuelle ») est un élément clé permettant le transfert de l'autorité scientifique aux ressources. Ainsi la *séparation de l'autorité pédagogique et de l'autorité scientifique* comme une réponse dans le débat sur l'efficacité des méthodes pédagogiques modernes : plutôt que le *degré* de guidage par l'enseignant, nous proposons de distinguer un plan pédagogique où le guidage est très fermement assumé par l'enseignant et un plan scientifique où la dévolution est activement promue. Ce cadre permet de distinguer deux dimensions à l'étayage que nous avons nommés structurant et stimulant. L'étayage structurant (qui facilite la réalisation de la tâche) soutient des compétences non encore acquises afin de permettre l'effort que représente l'apprentissage sur d'autres. L'étayage stimulant (qui incite à affronter les perturbations des conceptions qui permettent l'apprentissage) focalise sur les compétences à travailler l'activité cognitive. Soutenir l'apprentissage peut donc rendre la tâche plus difficile en favorisant les confrontations socio-cognitives et prendre la forme d'un retrait de l'aide attendue : s'abstenir de donner une réponse tout en guidant vers des ressources, par exemple.

Nous proposons un format de description de dispositifs en termes d'éléments de design incarnant les conjectures qui pourrait être employé pour l'analyse ou la conduite de nombreux autres dispositifs et même dans l'analyse à priori (Brousseau, 1990) de séquences d'enseignements. Ce format devrait être alors être rigoureusement formalisé ce qui n'est pas encore fait.

Les apports qui nous semblent se démarquer le plus de la littérature et pouvoir prétendre à une certaine originalité sont :

- La séparation claire entre autorité pédagogique et scientifique qui aide à résoudre le paradoxe du guidage malgré la dévolution et permet le développement de connaissances scientifiquement validées.
- Le pilotage dans l'espace conceptuel par les questions négociées dans le cadre des objectifs.
- L'affinage conceptuel guidé par l'interaction entre les questions et les ressources. i) La règle d'unicité des questions-réponses qui conduit à l'affinage conceptuel (*concept refinement et subsumption*) et oblige l'investigation à coller aux questions, assurant l'efficacité du pilotage (évite la dilution et la dérive vers la facilité d'accès des ressources). ii) l'adéquation paradigmatique obtenue par la confrontation progressive aux ressources authentiques qui induisent les questions du paradigme. iii) la structure du champ conceptuel qui oriente vers les concepts structurants, que nous proposons de nommer : f*orce centripète conceptuelle*. iv) l'infobésité comme une *solution* : l'hétérogénéité de la qualité des ressources affrontées par l'élève donne du sens à la validation. L'accès à internet expose justement à des documents incertains voire mauvais, mais aussi à des ressources authentiques dans le paradigme.
- L'identification de phases observables dans l'IBL et de variables permettant le pilotage conceptuel de ces phases d'investigation (colonisation de tous les domaines du champ conceptuel, montée de la complexité épistémique).
- L'étayage de l'investigation dans un espace d'écriture : la production en commun par les élèves d'un document décisif pour leurs examens (Modèle *Matrioshka*, (F. Lombard, 2008)).
- L'approche minimaliste (Carrol, 1998) de la conduite : rendre tangible les effets des règles et les effets éducatifs. La structure du design incarne une part de l'autorité pédagogique et fonctionne comme un cadre qui permet la liberté des élèves mais la délimite clairement.
- Le temps nécessaire i) la durée pour élaborer un contrat didactique d'IBL et développer chez les élèves les compétences d'intelligence informationnelle qui produisent des connaissances approfondies (plusieurs mois) ii) la durée de l'investigation pour que les élèves produisent des connaissances approfondies : complexité épistémique (3 semaines).

La pertinence de ces recommandations a été discutée dans le contexte où elles ont été établies, mais n'indique pas forcément leur pertinence à d'autres contextes et doivent être discutées et mises en perspective.

### 8.5.1 **Les limites et portée de ces conclusions**

Nous allons brièvement reprendre et discuter les limites de cette recherche dont il faut rappeler que le but n'est pas d'établir une mesure absolue d'efficacité ni de comparer un certain dispositif à un dispositif de référence. La section Limites de ces méthodologies (p. 173), propose une discussion détaillée sur ce point. Relevons cependant la standardisation incomplète des instruments comme des questionnaires résultant de la très grande durée de cette étude, ainsi que le fait que le chercheur soit aussi l'enseignant. Nous avons tenté de limiter ce biais en basant notre analyse sur des données aussi indépendantes que possible comme les productions des élèves, les journaux des observateurs et les questionnaires administrés aux élèves. Relevons aussi les limites liées au *Design-Based-Research* et des impératifs de recherche parfois en tension avec les valeurs de l'enseignement : parfois la responsabilité face aux élèves d'enseigner a induit une influence de l'enseignant sur les paramètres mesurés. C'est un choix que nous assumons et sommes prêts à défendre.

Portée généralisable du design : le *dispositif* tel qu'il été implémenté plusieurs années est situé (lié à une situation particulière, à des contextes scolaires et au profil de compétences particulières de l'enseignant) et donc pas ou peu reproductible tel quel. Rappelons que l'objectif de cette thèse n'est pas de défendre ou de déployer un dispositif particulier, mais d'en extraire une conceptualisation abstraite, des variables importantes et des recommandations permettant d'améliorer la conception, le pilotage et la recherche sur d'autres dispositifs d'investigation en sciences et notamment en biologie.

En ce qui concerne le *design* abstrait que nous proposons dans cette conclusion, il repose sur des fondements pédagogiques qui ne sont pas très couramment adoptés. Ils nous paraissent nécessaires pour l'investigation dans cette forme d'investigation orientée vers la production de connaissances scientifiques validées de manière autonome. Cela devrait en limiter la portée.

Un tel design peut-il être proposé à d'autres enseignants ?

L'investigation comme nous la définissons ici (IBL) nous paraît plutôt destinée à des enseignants expérimentés, ce qui est confirmé par la littérature. Par exemple, une étude de cas (Crawford, 1999) estime qu'il est possible de proposer l'investigation à des enseignants en formation mais pose une liste de conditions qui limite fortement les possibilités de généraliser :

> *First, explore preservice teachers' beliefs about science and about teaching as an important first step in getting them to think about the characteristics of inquiry-based learning environments.*
>
> *Second, involve preservice teachers in opportunities to undertake authentic investigations.*
>
> *Third, provide models of teaching about scientific inquiry in field placements and/or through videotaped cases.*
>
> *Fourth, scaffold preservice teachers in planning long-term units that relate to important questions and link to science content.*
>
> *Fifth, engage preservice teachers in collaborative inquiry of their own teaching* (Crawford, 1999 p. 190)

Nous relevons que le premier point rejoint le cadrage épistémique que (Bromme, et al., 2008) ont mis en évidence. Les croyances épistémiques de l'enseignant cadrent ce qu'il peut envisager de mettre en œuvre, en particulier ses théories (modèles d'action) sur l'apprentissage des élèves – par exemple la croyance qu'ils peuvent développer des connaissances valables (RD13) ou sa disponibilité à renoncer à un rôle de maître de dispensateur et d'autorité du savoir. Le deuxième point implique le changement des pratiques de formation initiale que nous souhaitons et qui pourraient faire l'objet de réflexions auprès des instances dirigeantes de ces instituts. Le quatrième point semble implémenté dans certaines formations des maîtres de biologie. Le troisième et le cinquième point nous paraissent bien s'inscrire dans le modèle du praticien réflexif (Schön, 1994) auquel nous nous référons dans cette recherche, la convergence conceptuelle et les valeurs dans cette posture nous paraissent constituer une piste de réflexion pour le développement de l'investigation dans la formation des enseignants.

Il nous semble difficile d'imaginer que de nombreux enseignants utilisent ce design tel qu'il a été soigneusement défini parce que la littérature regorge d'exemples de designs que leurs auteurs présentent avec enthousiasme mais qui ne sont pas souvent adoptés par d'autres. Les limites dans l'application d'une pratique validée par d'autres ont été discutées à propos de la définition de « ce qui est efficace » :

> *The assumption that there exists anything as singular and clean as "what works," we can perhaps reconsider what we really mean when asserting "what works. […] In addition, we can perhaps refocus on what has been shown again and again to be the path toward*

> *effective teaching and learning: the development of reflective instructors who are analytical about their practice and who make iterative instructional decisions based on evidence from the students sitting right in front of them* (Tanner, 2011 p. 324).

Aussi nous avons plutôt cherché à abstraire une structure reliant des recommandations dont nous pensons qu'elle a des chances d'aider ceux qui souhaiteraient développer leur propre dispositif d'investigation en fournissant une conceptualisation, des recommandations d'attitudes, des recommandations de pilotage et des variables pertinentes pour observer l'approfondissement conceptuel. Lors du développement de dispositifs d'enseignement, le nombre immense de variables qui pourraient avoir une influence est un défi et des indications permettant de réduire la complexité en focalisant sur des aspects et des variables qui ont de bonnes chances d'être importants peut faire gagner beaucoup de temps. Dans cette perspective, il nous semble que ces recommandations ont une bonne généralisabilité dans l'enseignement de la biologie, des sciences et peut-être ailleurs. Il nous semble aussi qu'elles peuvent guider la conception et le pilotage de dispositifs assez différents pouvant s'appliquer à d'autres types d'élèves.

Par exemple, la règle d'unicité conceptuelle des questions-réponses (RD10) nous paraît pertinente à toutes les formes d'investigation et même à l'apprentissage par problème, à la situation problème et d'autres formats. La confrontation à des ressources authentiques pour guider les élèves dans le paradigme (RDA3, RD6, RD7) nous paraît avoir une portée assez large – en dehors même de la biologie – puisque c'est le paradigme de la discipline choisie qui est déterminant. La nécessité de ressources hétérogènes (RD26) pour une validation autonome paraît pertinente de manière assez large : elle s'inscrit bien dans le développement de compétences citoyennes pour faire face à l'infobésité (F. Lombard, 2008) et développer l'esprit critique qui sont traitées dans plusieurs disciplines des sciences humaines. Notons cependant qu'elle ne paraît pas efficace sans une structure coopérative, un but partagé d'approfondissement et une validation progressivement dévolue. La complexité épistémique par contre est très probablement spécifique à la biologie : elle a du sens par rapport à l'explication des mécanismes sous-jacents qui est une question centrale dans le paradigme de la biologie actuelle (Morange, 2003).

Ces recommandations doivent être discutées au regard de leur pertinence aux différents domaines où elles seraient appliquées, mais elles ont le potentiel de faire gagner du temps dans l'élaboration et le pilotage de nombreux dispositifs d'investigation, de construction de connaissances dans la surabondance d'informations et de développement de l'autonomie dans la validation des connaissances.

Les possibles diffusions dans les institutions locales ou ailleurs sortent du cadre de nos compétences et des objectifs de cette étude ; aussi nous n'allons pas aborder les limitations institutionnelles d'une éventuelle généralisation. Elles ont été discutées dans la littérature, par exemple :

> *Incorporating inquiry-type activities in school science is inhibited by limitations in resources (including access to appropriate technology tools) and by lack of sufficient time for teachers to become informed and to develop and implement appropriate science curricula. Other inhibiting factors include large classes, inflexible scheduling of laboratory facilities, and the perceived foci of external examinations.* (Hofstein & Lunetta, 2004 p. 48)

Nous laissons à d'autres plus compétents (par exemple le projet européen PRIMAS) la discussion de ces limitations et des solutions pour gérer les changements institutionnels (Hixon & Buckenmeyer, 2009) et l'innovation. Notre recherche ne vise pas à induire le changement, à planifier l'innovation, à convaincre les autorités ou les enseignants, elle propose des recommandations qui pourraient aider ceux qui souhaiteraient développer l'investigation en biologie et peut-être dans d'autres disciplines.

Nous proposons cependant que nos recommandations puissent être utiles dans l'élaboration d'une progression des enseignants vers l'investigation. Si l'on considère les recommandations qui définissent le design abstrait et sa robustesse, c'est-à-dire la capacité de ces recommandations à produire des connaissances d'une épaisseur scientifique intéressante malgré une implémentation imparfaite, on peut supposer que de nombreux autres dispositifs peuvent être élaborés en s'inspirant des ces recommandations. La robustesse des RD que nous avons discutée plus haut permet d'envisager que ces recommandations puissent être efficaces même avec des dispositifs assez différents et adaptés à des contextes, des enseignants, des élèves assez différents.

### 8.5.2 **Perspectives de la recherche**

Au terme de cette recherche – exploratoire rappelons-le – nous voulons présenter quelques pistes de recherches qui pourraient approfondir les questions traitées, et envisager des prolongements dans des directions que nos résultats et conclusions ont suggéré mais aussi en évoquer les limites.

La complexité épistémique que nous avons mises en évidence comme outil de mesure de l'approfondissement conceptuel en biologie pourrait être appliqué de manière plus exhaustive sur les mêmes données : étudier la progression au cours de l'année sur tous les documents d'investigation d'une classe, ou comparer les années pour étudier les différences des implémentations entre 2006 et 2010 par exemple. Cette mesure pourrait être employée pour déterminer l'approfondissement conceptuel obtenu dans diverses productions d'élèves afin de comparer des interventions.

Nos données sont moins approfondies en dehors du chapitre de l'immunologie où les manipulations possibles au secondaire sont rares. La pertinence de nos conclusions à des chapitres de biologie où les manipulations expérimentales sont plus abondantes pourrait être explorée.

Nous pensons explorer la manière dont on peut élaborer la structure coopérative pour développer la responsabilité des élèves sur une partie des savoirs, puisqu'elle semble cruciale à leur investissement dans l'approfondissement conceptuel et les confrontations socio-cognitives. Nous aimerions explorer comment cette recommandation peut produire dans d'autres designs d'enseignement des sciences des effets similaires.

Une analyse du suivi des questions pourrait être approfondie dans une perspective didactique pour explorer l'approfondissement conceptuel et comparer les cheminements conceptuels de plusieurs groupes d'investigation parallèles ou selon diverses variantes de design pour étudier les cheminements de nombreux élèves dans l'espace conceptuel d'un chapitre de la biologie un peu comme (Zabel & Gropengiesser, 2011) à propos de l'évolution. Ces cheminements pourraient être employés pour étayer mieux le concept de *force centripète des concepts* structurants que nous proposons.

Le format de description proposé décrit l'activité en des termes pertinents à l'investigation, il pourrait être rigoureusement formalisé et la portée de son application mesurée et validée.

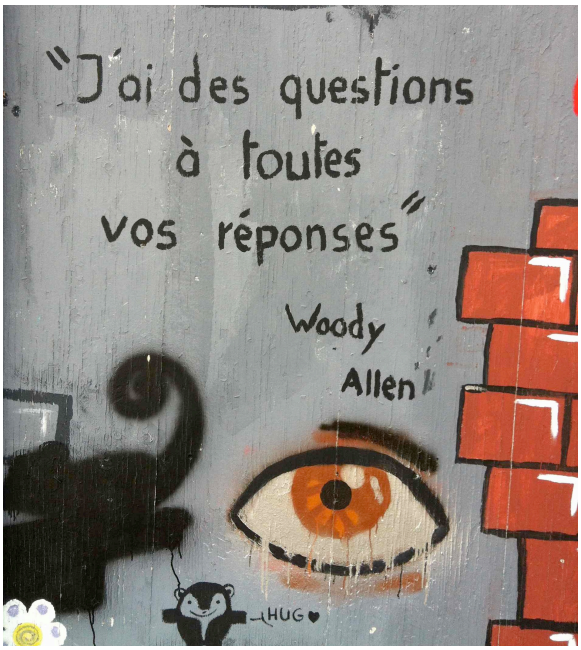
Les effets des notes sur les travaux intermédiaires suggèrent que les notes ne sont pas un frein à l'investissement très considérable des élèves constaté dans l'IBL, ce que notre compréhension de la motivation n'explique pas de manière univoque. Aussi les déterminants de la motivation des élèves pourraient être explorés dans ce type d'investigation.

L'hétérogénéité des réponses suggère un rapport à l'autorité et à la validation différent selon les personnes. Il serait intéressant aussi d'explorer les enjeux culturels et psychologiques du rapport à l'autorité dans l'investigation et l'apprentissage des sciences : nous avons vu la réticence de certains à la validation de leurs connaissances, qu'apprendre peut être plus ou moins

déstabilisant selon les caractéristiques psychologiques et culturelles de l'apprenant. Nous savons que la connaissance scientifique rejette par principe (et *en principe* diraient peut-être certains comme (Latour & Gille, 2001)) l'autorité, aussi serait-il intéressant d'étudier plus finement comment la distinction entre autorité pédagogique et autorité scientifique influence la facilité des élèves à assumer la validation. Il serait intéressant d'étudier si cette distinction est plus déterminante pour certaines cultures fondées sur le respect de l'autorité dans l'éducation par exemple.

## 8.6 Postface

Selon Popper, « le fait est que notre pédagogie consiste à submerger les enfants de réponses à des questions qu'ils ne se sont pas posées alors qu'on n'écoute pas les questions qu'ils posent » In (Robardet & Guillaud, 1997 p. 82)



Palissade au Collège Calvin, été 2012

| |
|---|
| Normalement, maintenant, plus l'ouvrage gros et détaillé, plus cela me conforte, car j'en suis presque sûr que j'y trouverai les réponses<br><br>la seule difficulté est de comprendre profondément ce qu'on recherche. Après, il n'est pas difficile de trouver si on est sûr de notre objectif<br><br>il faut lire différents articles et trouver les elements qui se recoupent. ca permet de s assurer qu on tombe dans le vrai |

Photo insérée par les élèves d'une classe dans leur page wiki.
Les filles ont tenu à préciser qu'elles *travaillaient à ce moment-là, elles* !

# 9 Références bibliographiques

AAAS. (1993a). *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press.

AAAS. (1993b). *Project 2061, Benchmarks for Science* (Vol. 2006). Washington: American Association for the Advancement of Science.

AAAS. (2006). Benchmarks. Retrieved 3, june, 2012, from http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php

AAAS. (2010). AAAS Science Assessment / Topics. *Project 2061.* Retrieved 15, July, 2011, from http://assessment.aaas.org/topics

Abbott, E. A. (1884). *Flatland: a romance of many dimensions.* USA: Oxford University Press.

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.

Abrami, P., Chambers, B., Poulsen, C., De Simone, C., D'Apollonia, S., & Howden, J. (1996). *L'apprentissage coopératif: théories, méthodes, activités.* Montréal : Editions de la Chenelière.

Achtenhagen, F. (2003). Problems of Authentic Instruction and Learning. Ville : *Technology, Instruction, Cognition and Learning (TICL), 1*(3).

Alava, S. (2000). *Cyberespace et formations ouvertes: Vers une mutation des pratiques de formation?* Bruxelles: De Boeck Université.

Alberts, B. (2003). Bio2010 Misinterpreted? *Science, 302*(5650), 1504-. doi[55]:10.1126/science.302.5650.1504a

Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Watson, J. (2002). *Molecular biology of the cell.* New York: Garland Publishing.

Allen, D., & Tanner, K. D. (2005). Infusing Active Learning into the Large-enrollment Biology Class: Seven Strategies, from the Simple to Complex. *Cell Biology Education, 4*(4), 262-268. doi: 10.1187/cbe.05-08-0113

Altet, M. (1993). Préparation et planification. In Houssaye, J. (Ed.), *La Pédagogie, une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp. 78-88). Paris: ESF.

Apple Computer. (1987). *Human Interface Guidelines: The Apple Desktop Interface*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Astolfi, J.-P. (1997a). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris: ESF.

Astolfi, J.-P. (1997b). *Mots-clés de la didactique des sciences: repères, définitions, bibliographies.* Bruxelles : De Boeck Université.

Astolfi, J.-P. (2005). Problèmes scientifiques et pratiques de formation. In O. Maulini & C. Montandon (Ed.), Les formes de l'éducation: variété et variations, *Raisons éducatives*, pp. 65-81). Bruxelles: De Boeck.

Astolfi, J.-P. (2008). *La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre*. Paris: ESF.

Astolfi, J.-P., & Develay, M. (2002). *La didactique des sciences* (6e éd. mise à jour). Paris: Presses Universitaires de France.

Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster, 16,* 103-141.

Atlan, H. (1972). *L'organisation biologique et la théorie de l'information*. Paris: Hermann.

Attwood, T. K., & Parry-Smith, D. J. (1999). *Introduction to bioinformatics: DNA sequence analysis.* Essex: Prentice Hall.

---

[55] doi = Digital Object Identifier : identifiant qui permet de retrouver l'article électronique, notamment par http://dx.doi.org/.

Ausubel, D. P. (1960). The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology, 51*(5), 267.

Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning.* New York: Grune & Stratton.

B.O.E.N. Ministère en charge de l'éducation nationale. (2005). *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale Hors-série n°5 du 25/08/2005.* Paris : Ministère de l'éducation nationale.

Bachelard, G. (1947). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.

Bairoch, A. (2006). *Comment rassembler l'information : présent et futur ?* Communication présentée à la Formation continue du Secondaire, DIP, Genève.

Bairoch, A. (2006). *La biologie a changé : comment enrichir mes cours* ? Communication présentée à la Formation continue du Secondaire, DIP, Genève.

Ball, P. (2007, 27 February ). The secret to the quality of Wikipedia entries is lots of edits by lots of people. *Nature, international weekly journal of science*. doi:10.1038/news070226-6

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: Freeman.

Bandura, A., & Schunk, D. H. (1981). Cultivating competence, self-efficacy, and intrinsic interest through proximal self-motivation. *Journal of Personality and Social Psychology, 41*(3), 586-598.

Barchechath, E., & Pouts-Lajus, S. (1990). Sur l'interactivité, postface. In K. Crossley & L. Green (Ed.), *Le design des didacticiels. Guide pratique pour la conception de scénarios pédagogiques interactifs* (pp.155-157). Paris: ACL Editions.

Baron, G.-L., & Bruillard, E. (2004). Quelques réflexions autour des phénomènes de scolarisation des technologies. In L. Pochon & A. Marechal (Eds.), *Entre technique et pédagogie. La création de contenus multimédias pour l'enseignement et la formation.* (pp. 154-162). Neuchâtel: IRDP.

Baron, G.-L., Bruillard, E., & Lévy, J.-F. (2000). *Les technologies dans la classe. De l'innovation à l'intégration*. Paris: INRP EPI.

Bartlett-Bragg, A. (2003). *Blogging to Learn.* Sydney, Australia: University of Technology. Retrieved 10, may, 2011 from http://knowledgetree.flexiblelearning.net.au/edition04/pdf/Blogging_to_Learn.pdf

Basque, J., & Lundgren-Cayrol, K. (2002). Une typologie des typologies des applications des TIC en éducation. *Sciences et techniques éducatives, 9*(3-4), 263-289.

Beck, M. R., Morgan, E. A., Strand, S. S., & Woolsey, T. A. (2006). Mentoring: Volunteers Bring Passion to Science Outreach. *Science, 314*(5803), 1246-1247. doi: 10.1126/science.1131917

Becker, K. (2004). Reconciling a traditional syllabus with an inquiry-based introductory course. *Journal of Computing Sciences in Colleges, 20*(2), 28-37.

Bereiter, C. (2002). *Education and Mind in the Knowledge Age* (Second ed.). Mahwah, New Jersey, United States: Lawrence Erlbaum Associates.

Bereiter, C., & Scardamalia, M. (1987). *The psychology of written composition*. Mahwah, New Jersey, United States: Lawrence Erlbaum Associates.

Besley, J. C., & Tanner, A. H. (2011). What Science Communication Scholars Think About Training Scientists to Communicate. *Science Communication, 33*(2), 239-263. doi: 10.1177/1075547010386972

Betrancourt, M. (1999). Sequential display of multimedia instructions: effect on users' understanding. *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems '99*, 732-737.

Betrancourt, M., Lombard, F., & Pasquier, E. (2009). *Rôle et apport des technologies pour la construction de compétences d'évaluation réflexive chez les futurs enseignants.* Communication présentée au colloque de l'ADMEE, Louvain-la-Neuve, Belgique.

Bhattacharjee, Y. (2005a). Education : Biologist Helps Students Get a Leg Up on Scientific Inquiry. *Science, 309*(5732), 239-. doi: 10.1126/science.309.5732.239

Bhattacharjee, Y. (2005b). Science Education: New Curricula Aim to Make High School Labs Less Boring. *Science, 310* (5746), 224-225. doi: 10.1126/science.310.5746.224

Bibeau, R. (2005). Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration. *revue de l'Enseignement Public & Informatique-EPI*. Récupéré le ??? de http://edutice.archives-ouvertes.fr/docs/00/28/50/52/HTML/

Biggs, J. B. (1999). *Teaching for Quality Learning at University*. Buckingham: SRHE & OUP.

Bindé, J. (2005). Towards knowledge societies : UNESCO world report. Paris: UNESCO.

Bioinformatics Wiki. (2006, 12 décembre). Bioinformatics. *The wikified Bioinformatics Frequently Asked Questions.* Retrieved 28, july, 2012, from http://wiki.bioinformatics.org/Bioinformatics

Bishop, A. P., Bruce, B. C., Lunsford, K. J., Jones, M. C., Nazarova, M., Linderman, D., Won, M., Heidorn, P. B., Ramprakash, R., & Brock, A. (2004). Supporting community inquiry with digital resources. *Journal of Digital Information, 5*(3).

Blagosklonny, M. V., & Pardee, A. B. (2002). Conceptual biology : Unearthing the gems. *Nature, 416*(6879), 373-373.

Bloom, B., Englehart, M., Furst, E., Hill, W., & Krathwohl, D. (1956). *The classification of educational goals : Handbook I, cognitive domain.* New York: Mc Kay.

Boethel, M., & Dimock, K. V. (1999). *Constructing Knowledge with Technology: A Review of the Literature*. Austin, TX: Southwest Educational Development Laboratory.

Boimare, S. (2002). *L'enfant et la peur d'apprendre*. Communication présentée à la Conférence publique Théatre André Malraux, Villeneuve-la-Garenne.

Bonner, J. J. (2004). Changing Strategies in Science Education. *Science, 306*(5694), 228. doi: 10.1126/science.306.5694.228

Bouffard, T., Brodeur, M., & Vezeau, C. (2005). *Les stratégies de motivation des enseignants et leurs relations avec le profil motivationnel d'élèves du primaire.* Montréal: Fonds Québécois de Recherche pour la société et la culture (FQRSC).

Bourgeois, E., & Buchs, C. (2011). Conflits sociocognitifs et apprentissage en formation. In P. Caspar & P. Carré (Ed.), *Traité des sciences et techniques de la formation* (pp. 291-308). Paris: Dunod.

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn. Brain, mind, experience, and school.* Washington, DC: National Academy Press.

Bray, D. (2001). Reasoning for results. *Nature, 412*(6850), 863-863.

*Bray, D. (2006). Computer bug study wins top prize.* Retrieved 16, december, 2006 from http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6113522.stm

Brenner, S. (2010). Sequences and consequences. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365*(1537), 207-212. doi: 10.1098/rstb.2009.0221

Brisse, H., De Ruffray, P., Grandjouan, G., & Hoff, M. (1996, 1995). *La banque de données phytosociologiques "SOPHY". I. Etalonnage des plantes indicatrices. II. Classification socio-écologique des relevés.* Proceedings of 4 th International workshop "European vegetation survey", Roma, Italy.

Britton, J. N. (1972). *Writing to Learn and Learning to Write*. Urbana, Illinois, USA: National Council of Teachers of English.

Bromme, R., Pieschl, S., & Stahl, E. (2008). Epistemological beliefs are standards for adaptive learning: a functional theory about epistemological beliefs and metacognition. *Metacognition and Learning*, 7-26. doi: 10.1007/s11409-009-9053-5

Brophy, J., & Good, T. L. (1986). Teacher behavior and student achievement. In M. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 328-375). New York: Macmillan.

Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique: le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques, 9*(3), 309-336.

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.

Brousseau, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques.* Récupéré le 31 mai 2003 depuis http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf

Brousseau, G., & Balacheff, N. (1997). *Théorie des situations didactiques.* Bordeaux : DAEST-Faculté des Sciences de l'Homme-Université Victor Segalen, Bordeaux 2.

Brown, A. L. (1992). Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *The Journal of the Learning Sciences, 2*(2), 141-178.

Brown, A. L., & Campione, J. C. (1995). Concevoir une communauté de jeunes élèves. Leçons théoriques et pratiques. *Revue Française de Pédagogie, 111*, 11-33.

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher, 18*(1), 32-42.

Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. Harvard: Harvard University Press.

Bruner, J. S., Deleau, M., & Michel, J. (1983). *Le développement de l'enfant: savoir faire, savoir dire.* Paris: Presses Universitaires de France.

Bucheton, D., & Dezutter, O. (2008). *Le développement des gestes professionnels dans l'enseignement du français: Un défi pour la recherche et la formation.* Bruxelles: De Boeck Université.

Buchs, C. (2007). *Initiation à la pédagogie coopérative.* Genève: FPSE Université de Genève.

Buchs, C. (2012, 8 juillet). *Discussion thématique.* TECFA, Université de Genève.

Buchs, C., Butera, F., Mugny, G., & Darnon, C. (2004). Conflict Elaboration and Cognitive Outcomes. *Theory Into Practice, 43*(1), 23-30.

Buchs, C., Darnon, C., Quiamzade, A., Mugny, G., & Butera, F. (2008). Conflits et apprentissage. Régulation des conflits sociocognitifs et apprentissage. *Revue française de pédagogie, 2*, 105-125.

Buchs, C., Filisetti, L., Butera, F., & Quiamzade, A. (2004). Comment l'enseignant peut-il organiser le travail de groupe? In E. Gentaz & P. Dessus (Eds.), *Comprendre les apprentissages. Sciences cognitives et éducation* (pp. 169-183). Paris: Dunod.

Buchs, C., Gilles, I., & Butera, F. (2012). Optimiser les interactions sociales lors d'un travail de groupe grâce à l'apprentissage coopératif. In E. Bourgeois & G. Chapelle (Ed.), *Apprendre et faire apprendre* Paris: Presses Universitaires de France.

Buchs, C., Lehraus, K., & Butera, F. (2006). Quelles interactions sociales au service de l'apprentissage en petits groupes. In P. Dessus & E. Gentaz (Ed.), *Apprentissages et enseignement* (Vol. 2, pp. 183-199). Paris: Dunod.

Buchs, C., Lehraus, K., & Crahay, M. (sous presse). Coopération et apprentissage. In M. Crahay (Ed.), *L'école peut-elle être juste et efficace ?* Bruxelles: De Boeck.

Bueno-Ravel, L., Forest, D., Gueudet, G., & Sensevy, G. (2010). *Guidelines for design of online resources for IBST.* Deliverable 5.2, Mind the Gap FP7, project 217725, European Union.

Burkhardt, H., & Schoenfeld, A. H. (2003). Improving Educational Research: Toward a More Useful, More Influential, and Better-Funded Entreprise. *Educational Researcher, 32*(9), 3.

Butera, F., Buchs, C., & Darnon, C. (2011). *L'évaluation, une menace ?* Paris: Presses Universitaires de France.

Butera, F., Darnon, C., Buchs, C., & Muller, D. (2006). Les méfaits de la compétition: comparaison sociale et focalisation dans l'apprentissage. In J. R. V. & P. Huguet (Ed.),

*Bilans et perspectives en psychologie sociale* (Vol. 1, pp. 15-44). Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Butera, F., Gardair, E., Maggi, J., & Mugny, G. (1998). Les paradoxes de l'expertise: influence sociale et (in) compétence de soi et d'autrui. In J. Baillé & A. Somat (Ed.), *Psychologie sociale et formation professionnelle: propositions et regards critiques* (pp. 111-123). Rennes: Presses Univesitaires de Rennes.

Butler, D. (2001). Are you ready for the revolution? *Nature, 409*, 758-760.

Campbell, K. (2002). Extension Research: A Metaphoric Approach. *Canadian Journal of University Continuing Education 28*(2), 9-15.

Campbell, M. A. (2003). Public Access for Teaching Genomics, Proteomics, and Bioinformatics. *Cell Biology Education,* 2, 98-111. doi: 10.1187/cbe.03-02-0007

Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2004). *Biologie*. Bruxelles: De Boeck.

Cañas, A. J., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Eskridge, T., Gomez, G., Arroyo, M. & Carvajal, R. (2004). CmapTools: A knowledge modeling and sharing environment. In A. J. Cañas, J. D. Novak, & F. M. González (Eds.), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology, Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping* (Vol. 1, pp. 125-133). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.

Canguilhem, G. (1955). *La formation du concept de réflexe aux XVIIème et XVIIIème siècles*. Paris: Presses Universitaires de France.

Carrol, J. M. (1998). *Minimalism beyond the Nurnberg Funnel*. Cambridge, MA: MIT Press.

Catel, L. (2001). Écrire pour apprendre? Ecrire pour comprendre? Etat de la question. *Aster,* 33, 17-47.

Center for Science Education. (2002). *Reform-based science curricula: developing methods to determine how they are used in high school classrooms.* Newton, MA: Center for Science Education.

Charpak, G. (1998). *Enfants, chercheurs et citoyens*. Paris: Odile Jacob.

Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné* (2e éd. revue et augmentée, 1985 lère éd.). Grenoble: La Pensée sauvage.

Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques, 19*(2), 221-266.

Chevallard, Y. (2004). La place des mathématiques vivantes dans l'éducation secondaire : transposition didactique des mathématiques et nouvelle épistémologie scolaire. *Actes de la 3ème Université d'été Animath* 22-27 août 2004, Saint-Flour, Cantal.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching, 35*(6), 623-654.

Cifali, M. (2007). *Le lien Educatif*. Paris: PUF.

CIIP. (2011). *Plan d'études Romand Mathématiques et sciences de la nature*. Romandie, Suisse: Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse Romande et du Tessin.

Claverie, J.-M., & Notredame, C. (2003). *Bioinformatics for Dummies*. Hoboken, NJ: Wiley.

Clergue, G. (1997). *L' Apprentissage de la complexité*. Paris: Hermes Sciences Publications.

Collins, A. (1999). The changing infrastructure of education research. In E. Lagemann & L. Shulman (Eds.), *Issues in education research* (pp. 289-298). San Francisco: Jossey-Bass.

Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of the Learning Sciences, 13*(1), 15-42.

Collins, H. (2004). Interactional expertise as a third kind of knowledge. *Phenomenology and the Cognitive Sciences, 3*(2), 125-143.

Coquidé, M. (2003). Face à l'expérimental scolaire. In J.-P. Astolfi (Ed.), *Education, formation : nouvelles questions, nouveaux métiers* (pp. 153-180). Paris : ESF.

Coquidé, M., Bourgeois-Victor, P., & Desbeaux-Salviat, B. (1999). "Resistance du réel" dans les pratiques experimentales. *Aster, 28,*57-78.

Coquidé, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation: fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster, 49*, 49-76.

Coquidé, M., & Le Maréchal, J.-F. (2006). Modélisation et simulation *Aster, 43*, 7-16.

Crahay, M. (2005). *Peut-on lutter contre l'échec scolaire?* Bruxelles: De Boeck Université.

Crahay, M. (2006). Un bilan des recherches processus-produit. L'enseignement peut-il contribuer à l'apprentissage des élèves et, si oui, comment ? Carnet des sciences de l'éducation. Genève: Université de Genève, FAPSE.

Crawford, B. (1999). Is it realistic to expect a preservice teacher to create an inquiry-based classroom? *Journal of Science Teacher Education, 10*(3), 175-194.

Cress, U., & Kimmerle, J. (2007). A theoretical framework of collaborative knowledge building with wikis: a systemic and cognitive perspective. In C. Chinn, G. Erkens, & S. Puntambekar (Eds.), *Proceedings of the 7th Computer Supported Collaborative Learning Conference* (pp. 153-161). New Brunswick, NJ: International Society of the Learning Sciences.

Crick, F. (1970). Central dogma of molecular biology. *Nature, 227*(5258), 561-563.

Crowe, A., Dirks, C., & Wenderoth, M. (2008). Biology in bloom: implementing Bloom's taxonomy to enhance student learning in biology. *Life Sciences Education, 7*(4), 368.

Cunningham, W. (2002). What is wiki, Beaverton, Oregon, USA. *Cunningham & Cunningham, Inc. Retrieved 10, september, 2012 from http://www.c2.com/1*(24).

Cunningham, W., & Leuf, B. (2001). *The Wiki Way. Collaboration and Sharing on the Internet*. Boston, MA: Addison-Wesley Professional.

Damasio, A. R., & Blanc, M. (2001). *L'erreur de Descartes.* Paris: Odile Jacob.

Darnon, C., Butera, F., & Mugny, G. (2008). *Des conflits pour apprendre*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

De Jong, T. (2006). *The Design of Effective Simulation-Based Inquiry Learning Environments*. Proceeding of the Conference on Learning by Effective Utilization of Technologies: Facilitating Intercultural Understanding.

De Vecchi, G. (2004). *Une banque de situations-problèmes*. Paris: Hachette Education.

De Vecchi, G. (2006). *Enseigner l'expérimental en classe : pour une véritable éducation scientifique.* Paris: Hachette Education.

De Vecchi, G., & Carmona-Magnaldi, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Paris: Hachette Education.

De Vecchi, G., & Giordan, A. (1989). *L'Enseignement scientifique : Comment faire pour que " ça marche "?* Nice: Z'Éditions.

De Vries, E. (2001). Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue Française de Pédagogie, 137*, 105-116.

Delacroix, J. (2005). *Les Wikis, Espaces de l'intelligence collective*. Paris: M21 Editions.

Denis, B. (2002). *Quels usages des logiciels mettre en œuvre en contexte éducatif?* Liège: Centre de Recherche sur l'Instrumentation, la Formation et l'Apprentissage (CRIFA). récupéré le 10 septembre 2012 de http://www.enseignement.be/tice/sugg/Article%20UPTICE1.pdf

Design Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher, 32*(1), 5-8.

Dewey, J. (1911). *How we think*. New York: Prometheus Books.

Diez-Roux, G., Banfi, S., Sultan, M., Geffers, L., Anand, S., Rozado, D., & al. (2011). A high-resolution anatomical atlas of the transcriptome in the mouse embryo. *PLoS Biology, 9*(1). pp. 1-13

Dillenbourg, P., & Schneider, D. (1995). Collaborative learning and the Internet. *Proceedings of ICCAI 95*.

Doise, W., & Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris: InterEditions.

Doise, W., & Mugny, G. (1997). *Psychologie sociale et développement cognitif*. Paris: Armand Colin.

Donovan, S., Bransford, J. D., & Pellegrino, J. W. (1999). *How People Learn: Bridging Research and Practice.* Washington, DC: National Academy Press.

Doyle, W. (2000). Authenticity. *Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association*, Montreal : éditeur ? pp??

Duboule, D. (2003). Time for Chronomics? *Science, 301*(5631), 277-. doi: 10.1126/science.301.5631.277

Duboule, D. (2005). Evolution and development: A Long and Winding Road. *Science, 308*(5724), 955-956. doi: 10.1126/science.1109964

Duboule, D., & Wilkins, A. S. (1998). The evolution of 'bricolage'. *Trends Genet, 14*(2), 54-59.

Duit, R. (2007). Students' and Teachers' Conceptions and Science Education (Electronic Bibliography). Kiel : IPN. Retrieved 5, november, 08. STCSE. Adresse ??

Duschl, R., Schweingruber, H., & Shouse, A. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: The National Academies Press.

Endy, D. (2005). Foundations for engineering biology. *Nature, 438*(7067), 449-453.

Ephrussi, B., Leopold, U., Watson, J. D., & Weigle, J. (1953). Terminology in bacterial genetics. *Nature, 171* (701).

Etkina, E., Karelina, A., & Ruibal-Villasenor, M. (2008). How long does it take? A study of student acquisition of scientific abilities. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 4*(2).

Fabre, M., & Musquer, A. (2009). Vers un répertoire d'inducteurs de problématisation, analyse d'une banque de situations-problèmes. *Spiral-E - Revue de Recherches en Éducation, 43*, 45-68.

Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance.* Stanford, CA: Stanford University Press.

Fisher, D., Henderson, D., & Fraser, B. (1997). Laboratory environments & student outcomes in senior high school biology. *The American Biology Teacher*, 59, 214-219.

Flick, L., & Bell, R. (2000). Preparing tomorrow's science teachers to use technology: Guidelines for Science educators. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 1*(1), 39-60.

Freinet, C. (1942). *L'Education du travail*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.

Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research, 82,* 300-329.

Gauthier, P.-D. (2004). Taxonomies des outils TICE. *Portail des Technologies Educatives de la GEV, Mission Outils TICE*. Récupéré de http://gev.industrie.gouv.fr/article.php3?id_article=474

Gibbons, M. (2000). Mode 2 society and the emergence of context-sensitive science. *Science and Public Policy, 27*(3), 159-163.

Giordan, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris: Centurion.

Giordan (sous la coordination), A. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* Paris: Presses Universitaires de France.

Giordan, A. (1987). *Histoire de la biologie* (Vol. 2). Paris: Technique et documentation-Lavoisier.

Giordan, A. (1991). La modélisation dans l'enseignement et la vulgarisation des sciences. *Impact: science et société, 164*, 337-353.

Giordan, A. sd. (1994). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques.* Berne: P. Lang.

Giordan, A. (1995). *Comme un poisson rouge dans l'homme.* Paris: Payot et Rivages.

Giordan, A. (1996). Les conceptions de l'apprenant. *Sciences humaines Hors-Serie, 12*, 48-50.

Giordan, A. (1998). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris: Belin.

Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir: des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques.* Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.

Giordan, A., & De Vecchi, G. (1989). *L'enseignement scientifique: comment faire pour que ça marche?* Nice: Z'éditions.

Giordan, A., Guichard, F., & Guichard, J. (1997). *Des idées pour apprendre.* Nice: Z'éditions.

Giordan, A., & Platteaux, H. (1996). *Le multimédia va-t-il remplacer l'école?* Actes du Colloque National Le multimédia dans l'Education, les enjeux d'une mutation culturelle, Neuchâtel.

Giordan, A., & Saltet, J. (2010). *Changer le collège, c'est possible !* Paris: OH! editions.

Good, T. L. (2008). Forty years of research on teaching 1968-2008: what do we know that we didn't kow then ? Paper presented at *EDSE Conferences. April 2008.* Genève.

Goodman, S. (2002). Put your lab in a different class. *Nature, 420*(6911), 12-14.

Grangeat, M., & Aubert, J. (2004). *La stratégie de diffusion des démarches d'investigation en France.* Delivrable 4 S-TEam, Projet S-TEAM, Bruxelles: Commission Européenne.

Gray, K., Richardson, T., Robertson, D., Swanson, P., & Subramanian, M. (2003). Soil-based gene discovery: a new technology to accelerate and broaden biocatalytic applications. *Advances in Appiedl Microbiology, 52*, 1-27. doi: PMID: 12964238

Greenwood, D. J., & Levin, M. (1998). *Introduction to Action Research: Social Research for Social Change* (Vol. 102). Thousand Oaks, CA: Sage.

Gregory, T. (2008). Understanding Evolutionary Trees. *Evolution: Education and Outreach, 1*(2), 121-137. doi: 10.1007/s12052-008-0035-x

Grmek, M. D. (1973). *Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard.* Genève, Paris: Droz.

Hachette. (1998). *Dictionnaire Hachette multimédia encyclopédique (DHM)*. Paris: Hachette Livre.

Hadji, C. (1997). *L'évaluation démystifiée*. Paris: ESF.

Hagay, G., & Baram-Tsabari, A. (2011). A Shadow Curriculum: Incorporating Students' Interests into the Formal Biology Curriculum. *Research in Science Education, 41*(5), 611-634. doi: 10.1007/s11165-010-9182-5

Hakkarainen, K. (2003). Progressive inquiry in a computer-supported biology class. *Journal of Research in Science Teaching, 40*(10), 1072-1088.

Hakkarainen, K., & Lipponen, L. (2002). Epistemology of inquiry and computer-supported collaborative learning'. In T. D. Koschmann, R. Hall & N. Miyake (Eds.), *CSCL 2, Carrying Forward the Conversation: Carrying Forward the Conversation* (pp.129-156). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hakkarainen, K., & Sintonen, M. (2002). The Interrogative Model of Inquiry and Computer-Supported Collaborative Learning. *Science & Education, V11*(1), 25-43.

Hammer, D. (1995). Epistemological considerations in teaching introductory physics. *Science Education, 79*(4), 393-413.

Hammer, D. (1996). More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for. Education research. *American Journal of Physics, 64*(10), 1316-1325.

Hammer, D. (1997). Discovery learning and discovery teaching. *Cognition and Instruction 15*(4), 485-529.

Hammer, D., & Elby, A. (2003). Tapping Epistemological Resources for Learning Physics. *Journal of the Learning Sciences, 12*(1), 53-90.

Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. In J. Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective.* Greenwich, CT: Information Age Publishing.

Handelsman, J., Ebert-May, D., Beichner, R., Bruns, P., Chang, A., DeHaan, R., & al. (2004). Scientific Teaching. *Science, 304*, 521-522.

Handelsman, J., Houser, B., & Helaine, K. (2002). *Biology Brought to Life: A Guide to Teaching Students to Think Like Scientists* (Instructor Version). New York: McGraw-Hill.

Hattie, J. (2008). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Abingdon, UK: Routledge.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher, 30*(3), 141-158.

Hickey, D. T., & Zuiker, S. J. (2005). Engaged Participation: A Sociocultural Model of Motivation With Implications for Educational Assessment. *Educational Assessment, 10*(3), 277-305.

Hintikka, J. (1992). The interrogative model of inquiry as a general theory of argumentation. *Communication and Cognition, 25*(2-3), 221-242.

Hintikka, J. (1999). *Inquiry as inquiry: A logic of scientific discovery.* Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Pub.

Hixon, E., & Buckenmeyer, J. (2009). Revisiting Technology Integration in Schools: Implications for Professional Development. *Computers in the Schools, 26*(2), 130-146.

Hmelo-Silver, C., E., Duncan, R. G., & Clark, A. C. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist, 42*(2), 99-107.

Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies, 28*(2), 115-135. doi: 10.1080/0022027980280201

Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research, 67*(1), 88-140. doi: 10.2307/1170620

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education, 88*(1), 28-54. doi:10.1002/sce.10106

Hollenstein, H., Sydow, N., & Wörter, M. (2003). *La diffusion des technologies de l'information et de la communication et de l'e-commerce dans l'économie suisse. Actualité OFS.* Berne: Office Fédéral de la Statistique.

Honts, J. E. (2003). Evolving Strategies for the Incorporation of Bioinformatics Within the Undergraduate Cell Biology Curriculum. *Cell Biology Education, 2*(4), 233-247. doi: 10.1187/cbe.03-06-0026

Horman, J. (2005). *Une exploration de l'interaction sociale en ligne lors de la réalisation d'activités d'apprentissage collaboratif dans deux espaces interactifs: un site internet et des wikis.* Maîtrise en technologie éducative, Université Laval, Canada. Récupéré de http://www.theses.ulaval.ca/2005/22468/ch04.html

Hounsell, D., & McCune, V. (2002). Teaching-Learning Environments in Undergraduate Biology: Initial Perspectives and Findings. In ETL Project (Ed.), *Enhancing Teaching-Learning Environments in Undergraduate Courses ETL.* Edinburgh: Economic & Social Research, Council, Department of Higher and Community Education.

Houssaye, J. (1988). *Le triangle pédagogique*. Paris: Peter Lang.

Houssaye, J. (1993). *La Pédagogie, une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris: ESF.

Huba, M. E., & Freed, J. E. (2000). *Learner-Centered Assessment on College Campuses: Shifting the Focus from Teaching to Learning*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.

Huber, A., Songer, N. B., & Lee, S. Y. (2003). BioKIDS: A Curricular Approach to Teaching Biodiversity through Inquiry in Technology-Rich Environments. *Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching* (NARST), Philadelphia, PA.

Huberman, M. A. (1986). Répertoires, recettes et vie de classe : comment les enseignants utilisent les informations ? In M. Crahay & D. Lafontaine (Ed.), *L'art et la science de l'enseignement.* (Vol. 2, pp. 151- 185). Bruxelles: De Boeck.

Huberman, M. A. (1989). *La vie des enseignants. Évolution et bilan d'une profession*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé.

Hurd, P. D. (1998). Scientific literacy: New minds for a changing world. *Science Education, 82*(3), 407-416.

Hutchison, P., & Hammer, D. (2010). Attending to student epistemological framing in a science classroom. *Science Education, 94*(3), 506-524. doi: 10.1002/sce.20373

IBL Workshop Collective. (2001, February 21). *Our definition of Inquiry.* Inquiry Teaching & Learning Workshop A Workshop for Educators, Librarians and Faculty in Teacher Education Programs. Retrieved 10, september, 2012 from http://inquiry.uiuc.edu/inquiry/definition.php3

Jacob, F. (1981). *Le jeu des possibles: essai sur la diversité du vivant*. Paris: Fayard.

Jaillet, A. (2004). *L'école à l'ère numérique. Des éspaces numériques, pour l'éducation à l'enseignement à distance.* Paris: L'Harmattan.

Janeway, C. A., Travers, P., Walport, M., & Shlomchik, M. (2001). *Immunobiology*. New York and London: Garland Science.

Jiménez-Aleixandre, M. P., & Fernández-López, L. (2010, 13-17 July, 2010 ). The meaning of authentic practices: A proposal illustrated by 9th grade students' generated projects. *Proceedings of ERIDOB Approaches for authenticity in biology education: Challenges and benefits of underlying perspectives*, Braga, Portugal.

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1989). *Cooperation and Competition : Theory and Research.* Edina, MN: Interaction Book Company.

Jonassen, D. H. (2003). *Learning to Solve Problems with Technology: A Constructivist Perspective*. Upper Saddle River, NJ, USA: Merrill Prentice Hall.

Jonassen, D. H., Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). *Learning with Technology: A Constructivist Perspective*. Columbus, OH: Merrill Prentice Hall.

Jorde, D. (2009). Technologies, resources and inquiry-based science teaching. Review of literature. In D. Jorde (Ed.), *Mind the Gap: Learning, Teaching, Research and Policy in Inquiry-Based Science Education* (Deliverable 5.1). Oslo, Norway: European Union.

Jorro, A. (2000). *L'enseignant et l'évaluation: des gestes évaluatifs en question*. Bruxelles: De Boeck Université.

Joshua, S., & Dupin, J. J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses Universitaires de France.

Joule, R.-V., & Beauvais J.-L. (2002). *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens.* Grenoble*:* Presses Universitaires de Grenoble.

Joyce, B. R., Weil, M., & Calhoun, E. (2000). *Models of teaching* (6th. ed.). Needham Heights, MA: Allyn & Abacon.

Kali, Y., & Linn, M. C. (2007). Technology-enhanced support strategies for inquiry learning. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. J. G. V. Merriënboer & M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology*, (3rd édition, pp. 445-461). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Karplus, R., & Butts, D. P. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching, 14*(2), 169-175.

Karsenti, T., & Dumouchel, G. (2010). Former à la compétence informationnelle: une nécessité pour les enseignants actuels et futurs. In T. Karsenti & G. Dumouchel (Ed.), *Le développement de l'intelligence informationnelle* (pp. 189-213). Montréal: Editions ASTED.

Karsenti, T., & Larose, F. (2002). Défis et fonctions des TIC en formation initiale à l'enseignement. In F. Larose & T. Karsenti (Ed.), *La place des TIC en formation initiale et continue à l'enseignement: bilan et perspective* (pp. 199-232). Sherbrooke, Canada: Éditions du CRP.

Kay, L. E. (2000). *Who wrote the book of life?: A history of the genetic code*. Stanford: Stanford University Press.

Kell, D. B., & Oliver, S. G. (2004). Here is the evidence, now what is the hypothesis? The complementary roles of inductive and hypothesis-driven science in the post-genomic era. *BioEssays, 26*(1), 99-105.

Kerr, N. L., & Bruun, S. E. (1983). Dispensability of member effort and group motivation losses: Free-rider effects. *Journal of Personality and Social Psychology, 44*(1), 78.

Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching, 40*(9), 898-921.

Keys, C. W. (1999). Revitalizing Instruction in Scientific Genres: Connecting Knowledge Production with Writing to Learn in Science. *Science Education, 83*(2), 115-130.

Khodor, J., Halme, D. G., & Walker, G. C. (2004). A Hierarchical Biology Concept Framework: A Tool for Course Design. *Cell Biology Education,* 3(2), 111-121. doi: 10.1187/cbe.03-10-0014

Kimmerle, J., Moskaliuk, J., & Cress, U. (2009). *Understanding learning: the Wiki way.* Proceedings of WikiSym '09-5th International Symposium on Wikis and Open Collaboration Mountain View, California.

Kirkwood, T. B. L. (2008). A systematic look at an old problem. *Nature, 451*(7179), 644-647.

Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist, 41*(2), 75-86. doi:10.1207/s15326985ep4102_1

Kitano, H. (2002). Systems Biology: A Brief Overview. *Science, 295*(5560), 1662-1664. doi: 10.1126/science.1069492

Kitchen, E., Bell, J. D., Reeve, S., Sudweeks, R. R., & Bradshaw, W. S. (2003). Teaching Cell Biology in the Large-Enrollment Classroom: Methods to Promote Analytical Thinking and Assessment of Their Effectiveness. *Cell Biology Education, 2*(3), 180-194. doi: 10.1187/cbe.02-11-0055

Klein, P. D. (1999). Reopening Inquiry into Cognitive Processes in Writing-To-Learn. *Educational Psychology Review, 11*(3), 203-270.

Kobbe, L. (2005). *Framework on multiple goal dimensions for computer-supported scripts.* Kaleidoscope project D29.2.1. Knowledge Media Research Center (KRMC).

Krause, J., Fu, Q., Good, J. M., Viola, B., Shunkov, M. V., Derevianko, A. P., & Paabo, S. (2010). The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia. *Nature, 464*(7290), 894-897.

Kritikou, E., Pulverer, B., & Heinrichs, A. (2006). Systems biology: a user's guide : All systems go! *Nature*. doi: 10.1038/sysbiol-s3

Kuhn, T. S. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.

Labov, J. B., Singer, S. R., George, M. D., Schweingruber, H. A., & Hilton, M. L. (2009). Effective Practices in Undergraduate STEM Education Part 1: Examining the Evidence. *Cell Biology Education - Life Sciences Education, 8*(3), 157-161. doi: 10.1187/cbe.09-06-0038

Lane, M. A., & Edwards, J. L. (2007). The Global Biodiversity Information Facility. In G. Curry & C. Humphries (Eds.), *Biodiversity Databases: From Cottage Industry to Industrial Networks.* Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis.

Lartigue, C., Vashee, S., Algire, M. A., Chuang, R.-Y., Benders, G. A., Ma, L., . . . Glass, J. I. (2009). Creating Bacterial Strains from Genomes That Have Been Cloned and Engineered in Yeast. *Science*, 325(5948), 1693-6. doi: 10.1126/science.1173759

Latour, B., & Gille, D. (2001). *L'espoir de Pandore: pour une version réaliste de l'activité scientifique*. Paris: La Découverte.

Lawson, T., & Comber, C. (2000). Introducing information and communication technologies into schools: The blurring of boundaries. *British Journal of Sociology of Education, 21*(3), 419-433.

Le Deuff, O. (2009). Les « digital natives » ou comment pensent nos jeunes ? Repenser le dialogue inter-générationnel via la culture de l'information au sein de l'Education Nationale. Communication à Nimes. récupéré le 8 juin de http://www.guidedesegares.info/2009/06/06/diaporama-de-lintervention-a-nimes/

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire (VNOS): Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(6), 497-521.

Lemke, J. (1990). *Talking Science: Language, Learning and Values*. *Language and educational processes*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.

Lévi-Strauss. (1962). *La pensée sauvage*. Paris: Plon.

Lieberman-Aiden, E., van Berkum, N. L., Williams, L., Imakaev, M., Ragoczy, T., Telling, A., . . . Dekker, J. (2009). Comprehensive Mapping of Long-Range Interactions Reveals Folding Principles of the Human Genome. *Science, 326*(5950), 289-293. doi: 10.1126/science.1181369

Linn, M. C., Lee, H.-S., Tinker, R., Husic, F., & Chiu, J. L. (2006). Inquiry learning: Teaching and Assessing Knowledge Integration in Science. *Science, 313*(5790), 1049-1050. doi: 10.1126/science.1131408

Lionni, L. (1974). *Fish is fish.* New York: Dragonfly Books.

Lloyd, M. (2005). *Towards a definition of the integration of ICT in the classroom.* Proceedings of AARE '05 Education Research - Creative Dissent: Constructive Solutions, Parramatta, New South Wales.

Lombard, F. (1975). *Simulation de l'apprentissage d'un jeu sur ordinateur.* Concours la Science appelle les jeunes, Lauréat.

Lombard, F. (1980). *Répartition des pigments plastidaires selon l'état physiologique de la plante.* Mémoire de diplôme en Biologie Université de Genève.

Lombard, F. (1990, novembre 90). *Le succès du multimédia : une question de communication !* Proceedings of Computer Graphics 90, Palexpo, Genève.

Lombard, F. (1992, novembre). *Vos neurones à la découverte d'eux-mêmes.* Proceedings of Forum télématique.

Lombard, F. (1993). L'école doit prendre en main les NTI ou les NTI prendront en main l'école. *Interface, organe de la CTIE (Centre suisse des technologies de l'information dans l'enseignemen)t, Zürich, 93*(3).

Lombard, F. (1996). Utilisation pédagogique de Neurodule. *Revue de l'Enseignement Public et Informatique (EPI), 81*, 221-226.

Lombard, F. (2007). Du triangle de Houssaye au Tétraèdre des TIC : Comment l'analyse des productions TIC permet d'approcher une compréhension des interactions entre les savoirs d'expérience et de recherche (Contribution au REF03). In B. Charlier & D. Peraya (Ed.), *Les technologies éducatives : une opportunité d'articuler les savoirs d'expérience et ceux issus de la recherche ?*(pp. 200-227). Bruxelles: De Boeck.

Lombard, F. (2008). Simplifier l'actualité scientifique ou rendre capables les élèves d'en affronter la complexité ? *Cahiers Pédagogiques, Hors série Travailler sur la presse écrite à l'École,* 82-87.

Lombard, F. (2009). *La perpendicularité des savoirs : Naissance d'un objet – de recherche – tridimensionnel.* Paper presented at the Doctoriales 2009, Lyon.

Lombard, F. (2011). New opportunities for authenticity in a world of changing biology. In A. Yarden & G. S. Carvalho (Eds.), *Authenticity in Biology Education: Benefits and Challenges* (pp. 15-26). Braga, Portugal: Universidade do Minho. Centro de Investigação em Estudos da Criança (CIEC).

Lombard, F., & Blatter, M.-C. (2009). *Adapting teacher training to new evolution research approaches*. Paper presented at the IUBS-BioED09 conference "Darwin 200 symposia", Christchurch, New-Zeland.

Lombard, F., & Strasser, R. J. (1983, 1984). *Evidence for spill over changes during state-1 to state-2 transition in green leaves.* Proceedings of VIth International Congress on Photosynthesis, Bruxelles.

Lombard, J. (Ed.). (2003). *L'école et l'autorité / études réunies et présentées par Jean Lombard*. Paris: L'Harmattan.

Marrs, K. A., & Novak, G. (2004). Just-in-Time Teaching in Biology: Creating an Active Learner Classroom Using the Internet. *Life Sciences Education, 3*(1), 49-61.

Martel, V. (2005). *Émergence d'une communauté d'apprentissage en réseau à l'ordre primaire : l'activité de transformation d'un environnement d'apprentissage par la direction, les enseignants et les élèves (étude de cas).* Maîtrise en psychopédagogie, Université Laval. Récupéré de http://www.theses.ulaval.ca/2005/22874/ch02.html#d0e641

Martinand, J. L. (1986). *Connaître et transformer la matière.* Berne : Peter Lang.

Martinand, J. L. (1989). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques. *Les Sciences de l'Éducation, 2*, 23-29.

Martinand, J. L. (1996). *Introduction à la modélisation*. Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques, Cachan, Paris.

Masson, S., Potvin, P., & Riopel, M. (2009). Utilisation de l'imagerie cérébrale pour l'étude du changement conceptuel en sciences. In M. Riopel, P. Potvin & J. Vaszquez-Abad (Ed.), *Utilisation des Technologies pour la recheche en éducation scientifique* (pp. 197-222). Québec: Presses de l'Université Laval.

Maturana, H., R., & Varela, F., J. (1994). *L'arbre de la connaissance.* Paris : Addison-Wesley France.

Maulini, O. (2005). *Questionner pour enseigner et pour apprendre : le rapport au savoir dans la classe*. Paris : ESF.

Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

McDonald, S., & Songer, N. B. (2008). Enacting classroom inquiry: Theorizing teachers' conceptions of science teaching. *Science Education, 92*(6), 973-993.

McLuhan, M., & Lapham, L. H. (1994). *Understanding media: The extensions of man.* Cambridge, MA: MIT Press.

McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *Journal of the Learning Sciences, 15*(2), 153.

Means, B., Olson, K., & Ruskus, J. A. (1997). *Technology and education reform*. Washington, DC: Office of Educational Research and Improvement, US Department of Education.

Meirieu, P. (1989). *Outils pour apprendre en groupe. Apprendre en groupe ?* (3ème éd. Vol. II). Lyon: Chronique sociale.

Meirieu, P. (1991). Apprendre à travailler. *Journal des Instituteurs et institutrices*, *1,*49-62.

Meirieu, P. (1993). *L'envers du tableau. Quelle pédagogie pour quelle école ?* Paris: ESF.

Meirieu, P. (1996). Mieux comprendre le fonctionnement du professeur... pour mieux faire réussir les élèves ? Récupéré le 20 septembre 2009 de http://www.meirieu.com/OUTILSDEFORMATION/cedre.htm

Meirieu, P. (2003). Libres Propos sur l'École. sept. 2003, extraits parus dans *Le Monde*, 14 sept. 2003.

Meirieu, P. (2005). *Quelle autorité pour quelle éducation?* Actes des Rencontres internationales de Genève.

Mercier, A., & Salin, M. H. (1988). *L'analyse a priori, outil pour l'observation*. Communication à l'Université d'été Orleans.

Mervis, J. (2004). Meager Evaluations Make It Hard to Find Out What Works. *Science, 11*(304), 1583.

Mervis, J. (2007). Preparing Teachers: A New Twist On Training Teachers. *Science, 316*(5829), 1270-1277. doi: 10.1126/science.316.5829.1270

Miles, M. B., & Huberman, M. A. (1994). *Qualitative Data Analysis: An expanded sourcebook* (Second ed.). Thousand Oaks, California, USA: Sage Publications.

Modell, H. I. (2000). How To Help Students Understand Physiology? Emphasize General Models. *Advances in Physiology Education, 23*(1), 101-107.

Moore, A. (2008). Science teaching must evolve. *Nature, 453*(7191), 31-32.

Morange, M. (2003). *Histoire de la biologie moléculaire*. Paris: La Découverte.

Morris, D. (1977). *Manwatching: a field guide to human behavior.* New York: Harry N. Abrams.

Mugny, G., Butera, F., Quiamzade, A., Dragulescu, A., & Tomei, A. (2003). Comparaisons sociales des compétences et dynamiques d'influence sociale dans les tâches d'aptitudes. *L'Annéee psychologique, 103*(3), 469-496.

Myers, D. G. (1998). *Psychologie.* Paris : Flammarion.

National Academy of Education (NAE) Panel. (2006). NAEP-QA FY06 Special Study. In National Academy of Education (NAE) (Ed.), *2005 NAEP Assessment.*: National Assessment Governing Board (NAGB).

Nature editorial. (2005). Life is what you make it. *Nature, 438*(7067), 396-396. doi:10.1038/435396b

Niederer, R., Greiwe, S., Pakoci, D., & Aegerter, V. (2002). *Les technologies de l'information et de la communication dans la scolarité obligatoire en Suisse. Premiers résultats. Actualités OFS.* Neuchâtel: OFS.

Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them. Technical Report IHMC CmapTools.* Florida, USA: Florida Institute for Human and Machine Cognition.

NRC. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.

NRC. (2003). *BIO2010: Transforming Undergraduate Education for Future Research Biologists.* Committee on Undergraduate Biology Education to Prepare Research Scientists for the 21st Century. Washington, DC: National Academy Press.

NSF- National Academy of Sciences. (2006). *Reconsidering the "Textbook"*. Washington: NSF. Retrieved 10, september, 2012 from http://serc.carleton.edu/textbook/

OECD. (2003). *PISA 2003 database.* OECD. Retrieved 14, july, 2005 from http://pisaweb.acer.edu.au/oecd_2003/oecd_table.php

Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster, 40*, 1-7.

Orange Ravachol, D., & Schneeberger, P. (2008). *CAPES de SVT: Epreuve orale sur dossier*: Bruxelles: De Boeck Université.

Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science, 328*(5977), 463-466. doi: 10.1126/science.1183944

Papert, S. (1971). Teaching children thinking. *Journal of structural learning, 4*(3), 219-230.

Paquay, L., Crahay, M., & De Ketele, J. M. (2006). *L'analyse qualitative en éducation: Des pratiques de Recherche Aux Critères de Qualité: Hommage a Michael Huberbam.* Bruxelles : De Boeck Université.

Paquette, G. (2002a). *L'ingénierie du télé-apprentissage, pour construire l'apprentissage en réseaux*. Québec: Presses de l'Université du Québec.

Paquette, G. (2002b). *Modélisation des connaissances et des compétences.* Québec: Presse de l'Université du Québec.

Parham, P. (2002). *Le système immunitaire*. Bruxelles: De Boeck.

Pea, R. D. (2004). The social and technological dimensions of scaffolding and related theoretical concepts for learning, education, and human activity. *The Journal of the Learning Sciences, 13*(3), 423-451.

Peraya, D. (1999). Vers les campus virtuels. Principes et fondements techno-sémio-pragmatiques des dispositifs de formation virtuels. In G. Jacquinot & L. Montoyer (Ed.), *Le Dispositif. Entre Usage et concept* (N° 25, pp. 153-168). Paris: CNRS Editions.

Peraya, D., Lombard, F., & Bétrancourt, M. (2008). De la culture du paradoxe à la cohérence pédagogique. Bilan de 10 années de formation à l'intégration de TICE pour les futur-e-s enseignants du primaire à Genève. In B. Charlier & P.-F. Coen (Ed.), *Formation des enseignants et intégration des TIC* (pp. 11-28). Neuchâtel: CDHEP Conférence des Directeurs des Hautes écoles pédagogiques.

Perrenoud, P. (1995a). Des savoirs aux compétences : les incidences sur le métier d'enseignant et sur le métier d'élève. *Pédagogie collégiale (Québec), 9*(2), 6-10.

Perrenoud, P. (1995b). Dix non dits ou la face cachée du métier d'enseignant. *Recherche et formation, 20*, 107-124.

Perrenoud, P. (1998). Réussir ou comprendre ? Les dilemmes classiques d'une démarche de projet. Genève: Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education. Récupéré le 21 avril 2007 de http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1998/1998_39.html

Perrenoud, P. (2004). *Métier d'élève et sens du travail scolaire* (4ème édition). Paris: E.S.F.

Perret-Clermont, A.-N., Grossen, M., Nicolet, M., & Schubauer-Leoni, M.-L. (1996). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne : Peter Lang.

Piaget, J. (1937). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel et Genève: Delachaux & Niestlé.

Platon. (201 AJC). *Théétète*.

Pollard, K. S., Salama, S. R., Lambert, N., Lambot, M.-A., Coppens, S., Pedersen, J. S., . . . Haussler, D. (2006). An RNA gene expressed during cortical development evolved rapidly in humans. *Nature, 443*(7108), 167-172.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66*, 211-227.

Postel Vinay, O. (2006). Une culture remplace l'autre. *La Recherche, 394*, 92.

Potvin, P., & Thouin, M. (2003). Etude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation, 29*(3), 525-544.

Prairat, E. (2003). *La sanction en éducation*. Paris: Presses Universitaires de France.

Pulfrey, C., Buchs, C., & Butera, F. (2011). Why grades engender performance-avoidance goals: The mediating role of autonomous motivation. *Journal of Educational Psychology, 103*(3), 683-700. doi: 10.1037/a0023911

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia A.-S., McNamara J. O., & Williams, M. S. (2001). *Neuroscience*. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates, Inc.

QAA - Quality Assurance Agency. (2002). *Subject Benchmark Statements: Biosciences.* Cheltenham: Quality Assurance Agency for Higher Education.

Quessada, M., Munoz, F., & Clément, P. (2007). Les conceptions sur l'évolution biologique d'enseignants du primaire et du secondaire de douze pays (Afrique, Europe et Moyen Orient) varient selon leur niveau d'étude. Strasbourg : *AREF Actualité de la Recherche en Education et en Formation,* 1.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains.* Paris: Armand Colin.

Raven, P. H., Johnson, G. B., Losos, J. B., & Singer, S. R. (2007). *Biologie*. Bruxelles: De Boeck.

Rechenmann, F. (2009). Retracer l'histoire évolutive. *La Recherche, 415,* 98-99.

Reiser, B. J. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *The Journal of the Learning Sciences, 13*(3), 273-304.

Rézeau, J. (2001). *Médiatisation et médiation pédagogique dans un environnement multimédia: le cas de l'apprentissage de l'anglais en histoire de l'art à l'université.* Thèse de doctorat, Université Victor Segalen–Bordeaux 2. Récupéré le 10 mai 2011 de http://perso.orange.fr/joseph.rezeau/recherche/thesePDF/acrobat.htm

Rimaz, J.-L. (2000). *Des questions au questionnement*. Genève: DGCO.

Robardet, G., & Guillaud, J.-C. (1997). *Eléments de didactique des sciences physiques*. Paris: PUF.

Robbes, B. (2006). Les trois conceptions actuelles de l'autorité. *CRAP Cahiers pédagogiques,* 1-20.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2006). *Science Education Now : a renewed pedagoy for the future of Europe.* Bruxelles: OECD European Commission.

Rodriguez, I. (2003). Nosing into pheromone detectors. *Nature Neuroscience, 6*(5), 438-440.

Rodriguez, I., Greer, C. A., Mok, M. Y., & Mombaerts, P. (2000). A putative pheromone receptor gene expressed in human olfactory mucosa. *Nature Genetics, 26*, 18-19.

Rogers, C. (1969). *Freedom to learn in the eighties.* Columbus, Ohio: Merrill.

Roseman, J. E., Stern, L., Caldwell, A., & Kurth, L. (2011). AAAS Project 2061 Biology Textbooks Evaluation. Washington, USA : AAAS.

Rosenthal, R., & Jacobson, L. (1968). *Pygmalion in the Classroom*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Roth, W.-M. (1995). *Authentic school science : Knowing and learning in open-inquiry science laboratories.* Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic publishers.

Rouet, J. F. (2006). *The skills of document use: From text comprehension to Web-based learning.* Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum.

Rouet, J. F., Ros, C., Goumi, A., Macedo-Rouet, M., & Dinet, J. (2010). The influence of surface and deep cues on primary and secondary school students' assessment of relevance in Web menus. *Learning and Instruction*. 21 (2), 205-219.

Rowlands, I., & Nicholas, D. (2008). *Information behaviour of the researcher of the future USC*. London: British Library and JISC.

Ruffray, P., Brisse, H., & Grandjouan, G. (2006). *La banque Sophy : un changement de paradigme*. Récupéré le 10 mai 2011 de http://sophy.u-3mrs.fr/paradigme.htm

Rumelhard, G. (1995). De la biologie contemporaine à son enseignement. In Develay. M. (Ed.), *Savoir scolaire et didactique des disciplines* (pp. 317-337). Paris: ESF.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. *American Psychologist, 55*(1), 68-78.

Sandoval, W. A. (2003a). Conceptual and Epistemic Aspects of Students' Scientific Explanations. *Journal of the Learning Sciences, 12*(1), 5-51.

Sandoval, W. A. (2003b, June 2004 ). *The inquiry paradox: why doing science doesn't necessarily change ideas about science.* Proceedings of Sixth Intl. Computer-Based Learning in Science Conference 2003, Nicosia, Cyprus.

Sandoval, W. A. (2004). Developing Learning Theory by Refining Conjectures Embodied in Educational Designs. *Educational Psychologist, 39*(4), 213-223. doi:10.1207/s15326985ep3904_3

Sandoval, W. A., & Bell, P. (2004). Design-Based Research Methods for Studying Learning in Context: Introduction. *Educational Psychologist, 39*(4), 199-201.

Sandoval, W. A., Bell, P., Coleman, E., Enyedy, N., & Suthers, D. (2000, April 25). *Designing Knowledge Representations for Learning Epistemic Practices of Science.* Proceedings of Designing Knowledge Representations for Learning Epistemic Practices of Science : Annual conference of the American Educational Research Association, New Orleans.

Sandoval, W. A., & Daniszewski, K. (2004). Mapping Trade-Offs in Teachers' Integration of Technology-Supported Inquiry in high School Science Classes. *Journal of Science Education and Technology, 13*(2), 161-178.

Sandoval, W. A., & Morrison, K. (2000). *You can't believe in a theory that's wrong: High school students' ideas about theories and theory change*. Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans. http://www.gseis.ucla.edu/faculty/sandoval/pdf/sandoval-aera00-natsci.pdf

Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2003). Explanation-Driven Inquiry: Integrating Conceptual and Epistemic Scaffolds for Scientific Inquiry. *Science Education, 88*(3), 345-372.

Sanger, F., & Tuppy, H. (1951). The amino-acid sequence in the phenylalanyl chain of insulin. 1. The identification of lower peptides from partial hydrolysates. *Biochemical journal, 49*(4), 463-481.

Sawyer, R. K. (2006). *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. New York: Cambridge University Press.

Scardamalia, M. (2004). CSILE/Knowledge Forum®. *Education and technology: An encyclopedia*, 183-192.

Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1992). Text-based and knowledge based questioning by children. *Cognition and Instruction, 9*(3), 177-199.

Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1993). Computer Support for Knowledge-Building Communities. *The Journal of the Learning Sciences, 3*(3), 265-283.

Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1996). Engaging Students in a Knowledge Society. *Educational Leadership, 54*(3), 6-10.

Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2002). Knowledge Building. *Encyclopedia of Education* (Second Edition). New York: Macmillan Reference.

Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2006). Knowledge building: Theory, pedagogy, and technology. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 97-115). New York: Cambridge University Press.

Scardamalia, M., Bereiter, C., McLean, R. S., Swallow, J., & Woodruff, E. (1989). Computer-supported intentional learning environments. *Journal of Educational Computing Research, 5*(1), 51-68.

Schacter, D. L. (1999). *À la recherche de la mémoire. Le passé, l'esprit et le cerveau*. Bruxelles: De Boeck.

Schneeberger, P., & Triquet, E. (2001). Didactique et formation des enseignants: Des recherches en didactique des sciences à la formation des enseignants: quels liens, quelles interactions? *ASTER, 32,* 3-14.

Schneider, D. (2006). *Introduction to educational technology.* Hagen, Germany: FernUniversität in Hagen.

Schneider, D., Class, B., Frété, C., Girardin, F., Lombard, F., Morand, S., & Synteta, P. (2003, Juin 2003). *Conception et implémentation de scénarios pédagogiques riches avec des portails communautaires Les communautés virtuelles éducatives.* Actes du Second colloque de Guéret.

Schön, D. A. (1994). *Le praticien réflexif, à la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal: Logiques.

Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education, 88*(4), 610-645.

Sears, H., & Wood, E. (2005). Linking Teaching and Research in the Biosciences. *Bioscience Education e-journal (BEE-j), 5*.

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press.

Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition, 124*(2), 209-215. doi: 10.1016/j.cognition.2012.04.005

Shulman, L. (1999). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. In J. Leach & B. Moon (Eds.), *Learners and pedagogy* (pp. 61-77). London: Paul Chapman.

Smith, A. C., Stewart, R., Shields, P., Hayes-Klosteridis, J., Robinson, P., & Yuan, R. (2005). Introductory Biology Courses: A Framework To Support Active Learning in Large Enrollment Introductory Science Courses. *Cell Biology Education, 4*(2), 143-156. doi: 10.1187/cbe.04-08-0048

Songer, N. B. (2006). BioKIDS: An Animated Conversation on the Development of Curricular Activity Structures for Inquiry Science. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 355-369). New York: Cambridge University Press.

Songer, N. B., Lee, H. S., & Kam, R. (2002). Technology-rich inquiry science in urban classrooms: What are the barriers to inquiry pedagogy? *Journal of Research in Science Teaching, 39*(2), 128-150.

Stahl, G. (2008). The strength of the lone wolf. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 3*(2), 99-103.

Stern, E. (2010, 23 juin). A l'école, la biologie n'est plus à jour. *Le Temps* (quotidien suisse édité à Genève).

Sternberg, R. J., Spear-Swerling, L., Ardois, C., Hénaff, D., & Roosen, A. (2006). *Eduquer l'intelligence: comment développer la pensée critique des élèves?* Bruxelles: De Boeck.

Strasser, B. J. (2003). The transformation of the biological sciences in post-war Europe. *EMBO reports, 4*(6), 540-542.

Strasser, B. J. (2006a). *Collectionner ou expérimenter ? Les bases de données bioinformatiques, un nouveau lieu de production du savoir.* Paris: Albin Michel.

Strasser, B. J. (2006b). A world in one dimension: Linus Pauling, Francis Crick and the central dogma of molecular biology. *History and Philosophy of the Life Sciences, 28*, 491-512.

Strasser, B. J. (2008). GENETICS: GenBank--Natural History in the 21st Century? *Science, 322*(5901), 537-538. doi: 10.1126/science.1163399

Strijbos, J. W., Kirschner, P. A., Martens, R. L., & Dillenbourg, P. (2004). *What we know about CSCL and implementing it in higher education.* Boston, MA,USA: Kluwer Academic Publishers Norwell.

Suping, S. M. (2003). Conceptual Change among Students in Science. *ERIC Digest*. doi: ERIC Identifier ED482723

Surridge, C. (2002). Computational biology; Nature Insight. *Nature, 420*(6912), 206-246. doi: doi:10.1038/nature01253

Tabak, I., Sandoval, W. A., Smith, B. K., Agganis, A., Baumgartner, E., & Reiser, B. J. (1995). Supporting collaborative guided inquiry in a learning environment for biology. In J. L. Schnase & E. L. Cunnius (Eds.), *Proceedings of CSCL '95: The First International Conference on Computer Support for Collaborative Learning* (pp. 362-366). Bloomington, IN: Erlbaum Associates Inc.

Tanner, K. D. (2009). Talking to Learn: Why Biology Students Should Be Talking in Classrooms and How to Make It Happen. *CBE Life Science Education, 8*(2), 89-94. doi: 10.1187/cbe.09-03-0021

Tanner, K. D. (2011). Reconsidering "What Works". *CBE-Life Sciences Education, 10*(4), 329-333. doi: 10.1187/cbe.11-09-0085

Tanner, K. D., & Allen, D. (2005). Approaches to Biology Teaching and Learning: Understanding the Wrong Answers- Teaching toward Conceptual Change. *Cell Biology Education, 4*, 112-117.

Tanner, K. D., Chatman, L., & Allen, D. (2003). Approaches to Biology Teaching and Learning: Science Teaching and Learning Across the School-University Divide-Cultivating Conversations through Scientist-Teacher Partnerships. *Life Sciences Education, 2*(4), 195.

Tardif, M., Lessard, C., & Lahaye, L. (1991). Les enseignants des ordres d'enseignement primaire et secondaire face aux savoirs: Esquisse d'une problématique du savoir enseignant. *Sociologie et sociétés, 23*(1), 55-69.

Tardif, M., & Mukamurera, J. (1999). La pédagogie scolaire et les TIC: l'enseignement comme interactions, communication et pouvoirs. Revue Éducation et Francophonie, *XXVII*(2).

Tardy, M. (1993). La Transposition didactique. In J. Houssaye (Ed.), *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui.* Paris: ESF.

Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2003). *Handbook of mixed methods in social & behavioral research.* Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.

The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium. (2005). Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome. *Nature, 437*(7055), 69-87.

The Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1990). Anchored Instruction and Its Relationship to Situated Cognition. *Educational Researcher, 19*(6), 2-10.

Thouin, M. (2001). *Notions de culture scientifique et technologique. Concepts de base, percées historiques, et conceptions fréquentes*. Québec : Editions Multimondes.

Tobias, S., & Duffy, T. (2009). *Constructivist instruction: success or failure?* New York: Taylor & Francis.

Toulmin, S. (1958). *The uses of argument.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Tourné, S. (Producer). (2005). *Le Wiki: Artefact d'une auto évaluation collective.* Récupéré de http://isdm.univ-tln.fr/PDF/isdm25/Tourne_TICE2006.pdf

Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education, 3*(2). doi: 10.1007/s11422-008-9090-4

Trouche, L. (2007). Environnements informatisés d'apprentissage: quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques? In R. Floris & F. Conne (Ed.), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage* (pp. 19-38). Bruxelles : De Boeck.

Tschannen-Moran, M. (1997). Trust in schools: a conceptual and empirical analysis. *Journal of Educational Administration, 36*(4), 334-352.

van de Vijver, M. J., He, Y. D., van't Veer, L. J., Dai, H., Hart, A. A. M., Voskuil, D. W., . . . Bernards, R. (2002). A Gene-Expression Signature as a Predictor of Survival in Breast Cancer. *New England Journal of Medicine, 347*(25), 1999-2009.

Van der Linden, M. (2003). Exploitation des systèmes mnésiques préservés, apprentissage sans erreur et rééducation des troubles de la mémoire. In T. Meulemans, B. Desgranges, S. Adam & F. Eustache (Ed.), *Evaluation et prise en charge des troubles de la mémoire* (pp. 373-389). Marseille: Solal.

Van Geert, P., & Steenbeek, H. (2005). The dynamics of scaffolding. *New Ideas in Psychology, 23*(3), 115-128. doi:10.1016/j.newideapsych.2006.05.003

Veenman, S. (1984). Perceived Problems of Beginning Teachers. *Review of Educational Research, 54*(2), 143-178. doi: 10.3102/00346543054002143

Venter, J. C., Remington, K., Heidelberg, J. F., Halpern, A. L., Rusch, D., Eisen, J. A., . . . Smith, H. O. (2004). Environmental Genome Shotgun Sequencing of the Sargasso Sea. *Science, 304*(5667), 66-74. doi: 10.1126/science.1093857

Venturini, P. (2007). *L'envie d'apprendre les sciences : motivation, attitudes,rapport aux savoirs.* Paris: Fabert.

Verret, M. (1975). *Le Temps des études.* Thèse de doctorat, Université de Lille III.

Vialle, B. (1999). Utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement d'une science expérimentale: la biologie au lycée. revue de l'*Enseignement Public et Informatique-EPI,* 93, 199-210.

Viau, R. (1997). *La motivation en contexte scolaire* (2e éd.). Bruxelles: De Boeck.

Viau, R. (Producer). (2005). *12 questions sur l'état de la recherche scientifique sur l'impact des TIC sur la motivation à apprendre.* Récupéré le 10 septembre 2012 de http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/LME/lombard/motivation/viau-motivation-tic.html

Vinck, D. (1995). *Sociologie des Sciences*. Paris: Armand Colin.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction, 4*(1), 45-69.

Vygotsky, L. (1962). *Thought and language* (E. Hanfmann & G. Vaka, Trans.). Cambridge, MA: MIT Press.

Vygotsky, L. (1978). Mind in society : The development of higher psychological processes. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. In D. L. Gabel (Ed), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan.

Weiner, B. (1979). A Theory of motivation for some classroom experiences. *Journal of Educational Psychology, 71*(1), 3-25.

White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: the concept of competence. *Psychological Review, 66*, 297-333.

Wiggins, G., & McTighe, J. (1998). What is backward design. *Understanding by design*, 7-19.

Wiggins, G., & McTighe, J. (2000). *Understanding by Design*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Woese, C. R. (2004). A New Biology for a New Century. *Microbiology and Molecular Biology Reviews, 68*(2), 173-186. doi: 10.1128/mmbr.68.2.173-186.2004

Wooley, J. C., & Lin, H. S. (2005). Catalyzing Inquiry at the Interface of Computing and Biology. Committee on Frontiers at the Interface of Computing and Biology, National Research Council. Washington, DC: National Academies Press.

Wright, R. L., Charlson, A., & Olson, C. F. (2005). A 15-Year Study of 63 Teachers at 24 Institutions Reveals: "What the Best College Teachers Do". *Cell Biology Education, 4*(4), 279-280. doi: 10.1187/cbe.05-08-0112

Wright, R. L., & Klymkowsky, M. W. (2005). Points of View: Content versus Process: Is This a Fair Choice? Undergraduate Biology Courses for Nonscientists: Toward a Lived Curriculum Can Nonmajors Courses Lead to Biological Literacy? Do Majors Courses Do Any Better? *Cell Biology Education, 4*, 189-198.

Young, R., & Harmony, S. (1999). *Working with faculty to design undergraduate information literacy programs.* New York: Neal-Schuman.

Zabel, J., & Gropengiesser, H. (2011). Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education, 45*(3), 143-149.

Zhang, J., Scardamalia, M., Lamon, M., Messina, R., & Reeve, R. (2007). Socio-cognitive dynamics of knowledge building in the work of 9-and 10-year-olds. *Educational Technology Research and Development, 55*(2), 117-145.

# 10 Annexes

Ce chapitre rassemble les annexes :-)

## 10.1 Annexe : Questionnaire de fin d'année proposé aux élèves en 2006.

Ce questionnaire a changé sensiblement au cours des implémentations, prenant une orientation plus recherche. Mais les questions ont été conservées chaque fois que c'était possible afin de permettre une comparaison entre les années.

Questionnaire proposé aux élèves de 4OS / mars 2006

__1. Que pensez-vous d'un cours organisé autour des questions plutôt que des réponses ?__

a. Que pensez-vous d'avoir à chercher vous-même les réponses ?

b. Que pensez-vous d'avoir du écrire vos pages Wiki ?

c. Que pensez-vous d'avoir du faire des exposés ?

2. Qu'avez-vous trouvé plus efficace :

a. les phase terrain et / ou labo

b. les phases livres recherches-rédaction Wiki

c. les exposés

d. Il faut les 3 pour que ce soit complet

__3. Avez-vous trouvé plus valable d'aller d'abord sur le terrain / labo. / expériences avant de bien connaitre le sujet (et seulement ensuite de découvrir la théorie) ?__

__4. Quelle importance ont eues pour vous les phases extra-scolaires (labo terrain chercheur CMU, accès bases Génomes etc) ?__

__5. Avez-vous eu l'impression de construire votre savoir autrement avec cette approche Questions-recherche-rédaction ?__

__6. Par rapport à un cours traditionnel Notez de 1=moins bien que, à 6 = nettement mieux que traditionnel (Commentaires bienvenus)?__

a. Comprendre en profondeur plutôt que par-cœur-vite-oublié ?

b. La manière dont on décide ce qui est juste ou faux : la validation des idées ?

c. Votre autonomie ?

d. Votre perception de ce qu'est la science ?

e. Maitrise d'une méthode pour apprendre générale ?

f. Votre plaisir dans la discipline biologie ?

g. Le rôle du maître ?

__7. Le Wiki a plutôt joué le rôle de : Notez de 1=très peu à 6 = beaucoup joué ce rôle ?__

a. Mémoire d'une séance à l'autre ?

b. Passage de témoin pour collaborer sur le même document ?

c. Synthèse

d. Structuration

e. Support pour l'exposé

f. Autre

__8. Le Wiki était-il une aide pour le travail de groupe ou un frein ?__

a. Comment ?

__9. D'après vous quel est le rôle a joué ce Wiki dans chaque sujet : ?__

a. Au début ?

b. Au milieu ?

c. A la fin ?

__10. Que retenez-vous en termes de d'apprentissage :?__

a. L'importance des questions ?

b. La construction du texte ?

c. L'importance d'exposer ?

d. Le travail en groupes ?

e. Que réutiliserez-vous dans vos apprentissages futurs ?

__11. Globalement : ce que vous trouvez qu'il faudrait :?__

a. Supprimer parce qu'inefficace

b. Modifier pour le rendre plus efficace

c. Garder tel quel parce que c'est nécessaire pour l'efficacité

__12. Comment proposeriez-vous de faire le cours l'an prochain ?__

__13. Autres remarques :?__

## 10.2 Annexe : Critères d'évaluation des pages

Critères annoncés pour l'évaluation des pages : Un lien renvoie depuis le bas de chaque page wiki d'investigation vers cette page-ci.
http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/CriteresEvaluationPage

Critères d'Evaluation des pages d'élèves avec F. Lombard au Collège Calvin

Réalisé au Collège Calvin avec le soutien de TECFA dans le cadre du projet SEED

!!Pour les pages wiki :

* Structure

o Articulé autour des questions-réponses

o Paragraphes centrés sur un concept

o Signatures des auteurs

o Liens judicieux

o Illustrations opportunes

o Bibliographie

* Contenu

o Qualité

o Quantité

* Langage

o Précision et concision

o Adéquation au public : collégiens (pas de jargon, noms cohérents : Cf. notamment les pages glossaire, etc)

o Orthographe et syntaxe

Pour les exposés :

* Structure

o Table des matières / plan

o structure cohérente (définition générale, suite de questions / réponses cohérentes / conclusion )

* Contenu

o Qualité des infos

o Durée ( respect du temps)

o Illustrations opportunes

o Liens avec les autres groupes judicieux

* Langage

o Adéquation à un public de collégiens (Termes définis, pas de jargon, noms cohérents, etc)

* Réponse aux questions

o Bonne connaissance du sujet

o Lucidité sur ses connaissances et sur les certitudes.

## 10.3 Annexe : Rapport de l'expert sur l'adéquation aux plans d'étude et la qualité des productions d'élèves.

L'expert, un docteur en immunologie et enseignant expérimenté dans l'enseignement public genevois a été choisi selon des critères mentionnés dans la méthodologie section 5.4.2, (p. 157). Son mandat y a été justifié par rapport aux questions de recherche.

En bref, nous lui avons demandé d'analyser ces documents selon 5 critères : adéquation du contenu aux plans d'étude, adéquation du niveau de formulation, qualité des explications, (pas seulement description, mais mécanismes élaborés), exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus, et si globalement le document constitue une bonne préparation pour l'examen de 4 OS. L'échantillonnage – défini dans les méthodes – est arbitraire et inclut de très bons et de moins bons travaux selon les années. Ce sont les mêmes pages sur lesquelles les analyses de nombre de mots, de questions, de changements de question et de complexité épistémique ont été effectuées.

### 10.3.1 **Fin d'année 2006**

*Très bon travail dans l'ensemble.*

**A)** adéquation du contenu aux plans d'étude ?

*Très bonne adéquation par rapport au plan d'étude qui intègre l'étude de l'immunologie. Le niveau atteint par les élèves est même plus haut que celui qui serait demandé.*

**B)** niveau de formulation adéquat ?

*Le langage est précis. Les termes sont bien choisis.*

**C)** qualité des explications, (pas seulement description, mais mécanismes élaborés) ?

*Il manque à mon sens une véritable hiérarchie dans la manière dont les questions sont posées. Une relecture avec cette notion de vouloir réorganiser les réponses aurait été souhaitée (peut-être en demandant une relecture par un groupe d'élève tiers). Ou en demandant à un élève du groupe de faire une lecture "sévère" ou "dans la peau de quelqu'un qui lit pour la 1ère fois".*

*Il y a quand même quelques inexactitudes… que faire de cela: laisser en l'état ou remédié en classe…*

**D)** exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus ?

*Il y a beaucoup sur la structure des anticorps, ce qui est important... Et peut-être pas assez sur l'action des anticorps dans le cas d'une vaccination ou dans la détection d'une maladie (séropositivité).*

*Idem pour immunité passive: trop bref.*

**E)** globalement : constitue une bonne préparation pour examen 4 OS ?

*Excellente préparation pour l'examen de 4OS. Le niveau de complexité est très élevé (certains diront universitaire). En tous les cas, ces élèves reverront les mêmes notions abordées de la même manière à l'Université en faculté de médecine… et ça c'est bien… l'apprentissage par spirale, en répétant d'année en année et en complexifiant à chaque fois.*

*L'utilisation de livres de référence (Campbell) est également une excellente chose. Il faut que les élèves apprennent à utiliser ces manuels. Par contre, il semblerait que le Campbell ait été privilégié par rapport à d'autres ouvrages. Les élèves ont suivi un peu le chapitre du Campbell. Diversifier les sources serait une bonne chose.*

*Evidemment qu'il manque ici la partie "soutenance orale" qui permet aux autres élèves de comprendre ce qui a été entrepris ou ce qui est en cours de construction.*

*La question, toujours la même, c'est est-ce que les autres élèves maitriseront suffisamment cette partie du chapitre.*

### 10.3.2 **Fin d'année 2007**

*Bon travail dans l'ensemble quoique parfois un peu trop direct.*

**A)** adéquation du contenu aux plans d'étude ?

*Très bonne adéquation par rapport au plan d'étude qui intègre l'étude de l'immunologie. Le niveau atteint par les élèves est même plus haut que celui qui serait demandé. Par contre, il manque des liens avec d'autres chapitres (vaccination notamment)*

**B)** niveau de formulation adéquat ?

*Le langage est parfois très précis avec utilisation de termes pointus utilisés dans le jargon scientifique. Les termes sont bien choisis. Parfois par contre, les phrases sont peu claires et trop denses. Pas assez de description.*

**C)** qualité des explications, (pas seulement description, mais mécanismes élaborés) ?

*La manière dont le chapitre est abordé ici par les élèves est différent que celle présentée dans le Campbell par exemple. Cela illustre peut-être le fait que les élèves ont d'abord eu une vision globale en posant quelques définitions puis se sont frayés un chemin propre. Ou alors, les élèves ont réorganisé leurs propos à postériori.*

*La qualité des explications est très variable. Certaines explications sont trop abruptes et ne s'appuient peut-être pas assez sur les figures.*

*La partie sur la structure des anticorps est insuffisamment décrite.*

**D)** exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus ?

*Le terme immunité humorale n'est presque jamais utilisé. Aucune image montrant l'immunité humorale en tant que telle.*

*Pas assez sur la structure des anticorps.*

*Il manque une image globale de l'action des anticorps.*

**E)** globalement : constitue une bonne préparation pour examen 4 OS ?

*Bonne préparation pour l'examen de 4OS. Le niveau de complexité est très élevée et parfois pas suffisamment expliquée.*

*L'utilisation du Janeway apporte beaucoup. Mais ces images devraient être plus utilisées par les auteurs de la page wiki.*

### 10.3.3 **Fin d'année 2009**

*Très bon travail dans l'ensemble au niveau de la gestion de la complexité. Par contre, l'organisation des questions me semble à revoir.*

**A)** adéquation du contenu aux plans d'étude ?

*Très bonne adéquation par rapport au plan d'étude qui intègre l'étude de l'immunologie. Le niveau atteint par les élèves est même plus haut que celui qui serait demandé.*

**B)** niveau de formulation adéquat ?

*Le langage est précis. Les termes sont bien choisis. Certaines questions sont posées de manière très "contemporaines", intégrant des éléments de la biologie moderne.*

**C)** qualité des explications, (pas seulement description, mais mécanismes élaborés) ?

*Organisation du plan à revoir. La fin du document est difficile à suivre au niveau de l'organisation. On saute parfois un peu du coq à l'âne.*

*L'explication du déroulement de la réponse humorale arrive trop tard dans le document.*

**D)** exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus ?

*Rien sur la notion de mémoire (sauf dans le tableau)… et pourtant c'est la base.*

*Sinon bonnes explications.*

**E)** globalement : constitue une bonne préparation pour examen 4 OS ?

*Très bonne préparation pour l'examen de 4OS. Le niveau de complexité est très élevé (certains diront universitaire). En tous les cas, ces élèves reverront les mêmes notions abordées de la même manière à l'Université en faculté de médecine… et ça c'est bien… l'apprentissage par spirale, en répétant d'année en année et en complexifiant à chaque fois.*

*Bon mélange entre Campbell et Janeway.*

*Les images en anglais ne semblent pas poser de problèmes.*

### 10.3.4 **Fin d'année 2010**

*Travail OK sans plus.*

**A)** adéquation du contenu aux plans d'étude ?

*Bonne adéquation par rapport au plan d'étude. On aurait souhaité que les élèves rentrent plus dans la complexité du sujet, aillent plus loin. Cela reste superficiel.*

**B)** niveau de formulation adéquat ?

*Le langage est suffisamment précis.*

*Cependant, la qualité des réponses tient souvent à la qualité des questions… et ici, les questions sont souvent mal formulées.*

**C)** qualité des explications, (pas seulement description, mais mécanismes élaborés) ?

*Les réponses sont dans l'ensemble beaucoup trop courtes. La lecture devient lassante et le lecteur a de la peine à faire les liens nécessaires.*

*Travail de réorganisation des questions-réponses à revoir pour étoffer le contenu et permettre les liens. Il manque un fil conducteur (par exemple une image centrale) permettant au lecteur de se retrouver dans la description de la réponse humorale.*

*Attention: épitoPe et non épitoTe.*

**D)** exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus ?

*Il manque une figure centrale.*

*Certaines parties non traitées (immunité passive, séropositivité, lien avec immunodéficience).*

**E)** globalement : constitue une bonne préparation pour examen 4 OS ?

*Pas sûr que les non spécialistes comprennent bien les points essentiels en vue d'une question à l'examen traitant exclusivement de l'immunité humorale.*

### 10.3.5 **Début d'année 2008**

**Commentaire:**

*Il y a des points intéressants dans ce document, notamment la description des expériences scientifiques. Ce qui est moins bon c'est l'organisation des questions que le lecteur non averti aura de la peine à regrouper pour faciliter sa compréhension et donc son apprentissage.*

**A)** adéquation du contenu aux plans d'étude ?

*Très bonne adéquation par rapport au plan d'étude. Le niveau atteint par les élèves est bon mais incomplet. Il manque en effet des points essentiels notamment sur la structure globale de la double hélice et surtout sur la réplication en tant que telle. Rien sur les enzymes de réplication par exemple (ligase, ADN polymerase III, hélicase, topoisomérase). La notion d'enzyme permet de faire comprendre aux élèves que la réplication est couteuse en énergie… et ça c'est un point essentiel. La réplication est un processus actif, gourmand en énergie, impliquant différentes molécules qui interagissent entre elles.*

**B)** niveau de formulation adéquat ?

*Le niveau est jugé bon. Le langage est assez précis. Les termes sont bien choisis. La formulation des questions et surtout la mise en contexte ne sont pas toujours suffisantes.*

**C)** qualité des explications, (pas seulement description, mais mécanismes élaborés) ?

*Bon mais l'organisation du document à revoir. Peut-être eut-il fallu faire que les élèves aient un plan clair soit avant de commencer soit plutôt après.*

*Quelques inexactitudes… que faire de cela: laisser en l'état ou remédier en classe…*

**D)** exactitude par rapport aux modèles scientifiques de consensus ?

*Le niveau est bon. Il manque des informations concernant la réplication. Beaucoup d'images tirées du net ou d'articles. Rien du Campbell ou d'un autre livre de référence: c'est dommage.*

**E)** globalement : constitue une bonne préparation pour examen 4 OS ?

*Très bonne préparation pour l'examen de 4OS même si incomplète en l'état (mécanisme de la réplication qui permettra de bien comprendre ce qui se passe lors d'une mitose ou méiose). Il faut aussi garder en tête ici que cette partie de cours se déroule en début d'année. Les élèves sont donc en phase d'apprentissage "double": apprentissage de la matière (ADN et réplication) mais aussi apprentissage de la méthode de travail. Une relecture en fin d'année du chapitre produit permettra aux élèves de non seulement comprendre ce qu'ils ont appris, mais aussi, avec l'expérience, de voir les failles (notamment au niveau de la réorganisation du chapitre). Une fois cela fait, et une fois l'habitude de travailler avec les livres de références acquise, ces élèves seront prêts pour l'examen de 4OS.*

*Commentaires sur ces analyses*.

On peut noter que l'expert ne paraît pas avoir tout à fait pris en compte le découpage des thèmes puisqu'il indique la faiblesse du document étudié sur l'immunité passive, la structure des anticorps et les vaccins qui sont pourtant investigués par d'autres élèves travaillant en parallèle dans des documents séparés.

Nous interprétons cette remarque dans le sens que l'expert aurait analysé le document comme un « polycopié » qui aurait pu être produit par un enseignant. Cela impliquerait une analyse plus sévère et nous conduit à une validation de ces documents d'autant plus favorable.

D'autre part l'expert déborde par moments des questions posées et discute d'autres aspects pédagogiques du dispositif. Nous n'avons pas pris en compte ces remarques.

On se souvient aussi que l'échantillonnage inclut des documents produits dans des circonstances défavorables (pour l'enseignant et dans la dynamique des élèves du groupe étudié) pour l'année 2010 et d'autres productions particulièrement favorables.

## 10.4 Annexe : Canevas structurant les documents wiki

Wiki 4OS : création de cours interactive par les élèves

!Pourquoi cette page ? Cette page recense des questions et la construction par le élèves de leurs réponses qui correspondent à leurs interrogations, qui expriment ce qui a été travaillé en classe et surtout aident à comprendre et à réviser efficacement. Elle est donc un support pour construire ensemble une préparation aux examens. Les élèves composent eux-mêmes les pages. Elles sont donc
le reflet de leur maitrise actuelle du sujet
une mémoire pour la continuité du cours
un outil collaboratif pour préparer les examens
un outil cognitif pour transformer les informations en connaissances.
le produit concret du projet matérialisant leurs efforts

Elle ne remplace pas les très bons ouvrages de référence recommandés. (Raven notamment) Cf aussi Ressources 4OS

Le titre contient une question implicite.

Cherchez d'abord dans un ouvrage plutôt simple pour commencer (Rabish et al., 1992 Objectif vie, LEP), cela devrait susciter des interrogations, puis développez les questions qui apparaissent avec le Raven et d'autres ouvrages spécialisés en les organisant selon la structure proposée :

Le maître est là et peut vous aider à répondre et à structurer

Principe

Définitions

Mécanisme détaillé

Question ...

Figure x : Ajouter ici une légende qui explique ce que vous avez voulu mette en évidence

Potentiels et limites

Bibliographie :

Raven, P. H., Johnson, G. B., Losos, J. B., & Singer, S. R. (2007). Biologie. Bruxelles: de Boeck.

Campbell,Neil A. Reece Jane, 2004, Biologie, 2ème ed. de Boeck

Janeway, C. A., Travers, P., Walport, M., & Shlomchik, M. (2001). http://www.ncbi.nlm.nih.gov/bookshelf/br.fcgi?book=imm?. New York and London: Garland Science.

Liens :

Base Intranet d'images

Ressources 4OS

Auteurs :

noms ici

ici

ici

Critères d'évaluation des pages : CriteresEvaluationPage

Règles de formatage Wiki

Retour à la Cyber4OSCalvin10

Pages Calvin de F.Lo

## 10.5 Annexe : Liste des pages produites au cours des années

Pour les années scolaire, c'est l'année finale qui est indiquée (2002-2003 est indiqué comme 2003).

Pour chaque année scolaire, voici une liste du nombre de documents : il s'agit de 4OS sauf indication contraire

- Année 2002 (2 OS) 26 documents d'investigation
- Année 2003 (3OS) 30 documents d'investigation
- Année 2004 50 documents d'investigation
- Année 2005 (3DF) 10 documents d'investigation
- Année 2006 39 documents d'investigation
- Année 2007 40 documents d'investigation
- Année 2008 37 documents d'investigation
- Année 2009 26 documents d'investigation
- Année 2010 29 documents d'investigation

Ci-dessous les noms des pages sont indiqués avec l'appellation en *WikiMot* c'est-à-dire un mot avec deux majuscules au moins qui constitue l'appel d'un hyperlien en même temps que le titre de la page.

### 10.5.1 **Année 2002 : 26 documents d'investigation**

Phase C : MondePlantes

Phase C : QuestionsStyleEpreuveC

LesAlgues | LesMousses | LesFougères | LesConiferes | LesPlantesaFleur | LesFruits | LaPhotosynthèse

Phase B : les GroupesPhaseB QuestionsStyleEpreuveB

MeioseSexualité | Embryologie I | Embryologie II | FIV Procréation Assistée | Définitions

Phase A : Objectifs d'apprentissage = QuestionsStyleEpreuve A

DeterminationSexe PhasesVie HormonesMasculines HormonesFeminines AnatomieFeminine CycleMenstruel

Remarques de mise en page et autres questions générales : DiversVarieés

### 10.5.2 **Année 2004 : 50 documents d'investigation**

http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Cyber4OSCalvin

Groupe

I Labo terrain 1 septembre 03 | FacteurLumiere | Repartition-Forets

II Labo terrain 4 septembre 03 | FacteurRichesseSol | ProductivitePrimaire

III | LaboPinchat-25IX03 | FacteurTemperature | ZonationAltitudinale

IV | LaboPtitesBetes-23oct03 | FacteurAcidite | RepartitionEcosystemesMondial

V | LaboRiviereSeymaz-27X03 | FacteurHumidite | GlossaireEcologie

Groupe

I | AutoEpurationStep | OzonePollutionsAutres | AireRepartition

II | LemanCirculationAnnuelle | RechauffementClimatique | ParasitismeSymbiose

III | EutrophisationPollutions | CroissanceLimites | CroissancesRegulations

IV | ReseauxPyramides | ConcentrationToxinesCycles | StabiliteReseauAlimentaire

V | CycleRoleEau | EpuisementRessources | IntroductionEspeces

Phase III - IV :

I | EmotionSensationPerception | CognitionAnimale |

II | OdoratGout | ApprentissageAnimal

III | OeilVision | ComportementSocial

IV | OreilleAudition | ComportementStereotype

V | EquilibreSensOublies | PredationEvitement

### 10.5.3 **Années 2005 : 10 documents d'investigation**

http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/Cyber3DFCalvin

PreaquisEcologie| QuestionsEcologieDF| SierneEcolo05FacteursAbiotiques3DF05| TableauDonneesSierne05| EcosystèmeNicheEcoloBiodiv05 | PyramideAlimFluxEnergieCycleConcentration| ProductiviteIaireBiomasseBiomes| EcosystèmeNicheEcoloBiodiv05| PyramideAlimFluxEnergieCycleConcentration | ProductiviteIaireBiomasseBiomes

### 10.5.4 **Année 2006 : 39 documents d'investigation**

Groupe 1 | ImmunoHumorale06 | LaboFossiles06 | LaboEvolution06

Groupe 2 | Allergies06 | DeroulementEvolution06 | EvolutionHomme06

Groupe 3 | VaccinImmunite06 | PreuvesEvolutionEmbryoAnatomo06 | TheoriesEvolution06

Groupe 4 | ImmunoCellulaire06 | LaboEvolutionADN06 | MecanismesEvolution06

Groupe 4 | PCR06 | PCR06 | EmpreinteGenetique06 | GenetiqueMendelienn06 | ImmunoCellulaire06

Groupe 3 | ReplicationADN06 | SequenceStrubin06 | Virus06 | OperonLac06 | laboGroupeSang06

Groupe 2 | SequencageADN06 | ReplicationADN06 | LaboConjugaison06 | TherapieGenique06 | Labosang06

Groupe 1 | ReplicationADN06 | LaboRestriction06 | LaboRestriction06 | GenetiqueCancer06 | ImmunoHumorale06

Groupe 4 | GenetiqueMendelienn06 | MeioseMitose06 | QuestionsStrubin06 | ReplicationADN06

Groupe 3 | Espece06 | MeioseMitose06 | QuestionsStrubin06 | ReplicationADN06

Groupe 2 | CodeGenetique06 ExtractionADN06 | ProduireInsuline06 -> Plasmide | QuestionsStrubin06 | ReplicationADN06

Groupe 1 | StructureADN06 | ProduireInsuline06 -> Ligase | QuestionsStrubin06 | ReplicationADN06

### 10.5.5 **Année 2007 : 40 documents d'investigation**

Groupe 1 | ImmuniteHumorale07|LaboFrottiSanguin07 | DeroulementTertiaire07|DatationsDeriveContinents07|LaboAnthropo07|EvolutionHomme07

Groupe 2 | ImmuniteCellulaire07|LaboGroupeSanguins07 | DeroulementSecondaire07| PreuvesEmbryoAnatomo07 | LaboEvolut07

Groupe 3 | Vaccins-AutresDefenses07|LaboEvolMol07 | DeroulementPrecambien07| PreuvesMoleculaires07| MecanismesEvolution07

Groupe 4 | Allergies-AutoImmunite07|LaboFossiles07 | DeroulementPrimaire07|PreuvesFossiles07 | TheoriesEvolution07

Groupe 1 | StructureRoleADN07| LaboRestriction07 |GenieGenetique07| LaboConjugaison07 |Virus07

Groupe 2 | LaboFrottis07 | GeneTranscription07|SequencageGenome07|QuestionsCmuStrubin07 | TherapiesGeniques07

Groupe 3 | CodeGenetique07 | LaboExtractAdn07|ProfilADN-PCR07| MecanismesCancer07|LaboBlast07

Groupe 4 | ChromosomesCycleCellule07|RegulationExpression07|LaboGenexR6| MicroArrayRNAi07

### 10.5.6 **Année 2008 : 37 documents d'investigation**

Groupe 1 | LaboFrottisBuccal08 | CodeGenetique08 | SequencageGenome08

Groupe 1 | CancerMecanismes08 | LaboTransformation08 | ImmuniteCell08

Groupe 2 | LaboExtractionADN08 | GenetiqueMendelienne08 | EmpreinteAdnPCR08

Groupe 2 | VirusMecanismes08 | ImmuniteHumor08

Groupe 3 | StructureADN08 | GenieGenetique08 | LaboConjugaison08

Groupe 3 | MicroarrayGenomewide08 | VaccinSerum08

Groupe 4 | CycleCellulaire08 | RegulationExpressionGene08 | LaboDigestPlasmide08

Groupe 4 | TherapiesGenRNAi08 | Allergo08

Page commune GlossaireMoleculaire08

Autres pages : ExpleQuestExamimmuno | QuestionsEnSuspens08 | QuestionsCmuStrubin07 | pages non ou incomplètement utilisées DeroulementIIIaire08| MecanismesEvolution08| LaboEvolGenomique08| EvolutionMoleculaire08| DeroulementIaire08| DeroulementPrecambrien08| PreuvesEvolution08| TheoriesEvolution08| DeroulementIIaire08|LaboEvoluTion08|EvolHomo08

### 10.5.7 **Année 2009 : 26 documents d'investigation**

CodeGenetique09 | SequencageADN09 | LaboMutagenese08 | CancerMecanismes09 | LaboTransformation09 | ImmunCell09

StructureADN09 | RegulationExprGen09 | LaboConjugaison09 | MicroArrayMassSequencing09 | VaccinDefensesInnes09 | LaboGrpSang09

CycleCellulaire09 | GenieGenetique09 | PCREmpreinteAdn09 | LaboDigestionPlasmide09 | ImmunHumor09 | LaboFrottisSang09

GenetiqueMendel09 | LaboFrottisBuccal09 | Virus-09 | TherapieGenique09 | AllergoInflammation09

ExpleQuestExamimmuno | LaboBioinfo09 | QuestionsProfStrubin09 | QuestionsCMUVuilleumier09

### 10.5.8 **Année 2010 : 29 documents d'investigation**

Groupe1 | CalWikiStructureADN-10 | CalWikiLaboExtrADN-10 | CalWikiVariabliTADNEmpreinte-10 | CalWikiCancerMecanisme-10 | CalWikiLaboRestriction-10| CalWikiLaboFrottiSanguin-10 | CalWikiAllergAutoImmunite-10 | CalWikiChronoPrecambrien-10

Groupe2 | CalWikiDivCell-10 | CalWikiLaboGenexR6-10 | CalWikiRegulEpxpression-10 | CalWikiVirus-10 | CalWikiLaboMutation-10 | CalWikiImmuniteCellulaire-10 | CalWikiLaboGroupSang-10 | CalWikiChronoPrimaire-10

Groupe3 | CalWikiCodeGenetic-10 | QuestionChercheursCMU-10 | CalWikiSequencagePCR-10 | CalWikiTherapieG-10 | CalWikiLaboConjugaison-10| CalWikiVaccinsAutresDefenses-10| CalWikiChronoSecondaire-10

Groupe4 | CalWikiGenMendel-10 | CalWikiLaboFrottis10 | CalWikiGenieGenetique-10 | CalWikiMicroArraySeqMasse-10 | CalWikiLaboTrnsformation-10 | CalWikiImmuniteHumorale-10 | CalWikiChronoTertiaire-10

Questionnaire de préacquis| CalWikiChronologieEvolution-10| CalWikiEvolutionSequence-10| CalWikiEvolutionPreuves-10

## 10.6 Annexe : Questionnaire proposé aux élèves en fin d'année

Comparez le premier wiki que vous avez réalisé et le dernier que vous venez de finir.

*1) En comparant les pages wiki du début et de la fin que constatez-vous ? .....

*2) Que pensez-vous du schéma global (Chercher les questions à se poser sur le domaine à étudier se rendre sur le terrain observer, se répartir les questions, et d'y répondre vous-même à partir de sources bibliographiques) ?

*3) Que pensez-vous d'avoir dû :

*3a) chercher vous-même les réponses ? .....

*3b) écrire vos pages wiki ? .....

*3c) faire des exposés souvent ?

*4) Etes-vous plus fiers de vos fascicules ou plutôt de ce que vous savez ? .....

*5) Gestion de l'information

*5a)Avez-vous l'impression que votre attitude face à de gros ouvrages scientifiques a changé ? En quoi ? .....

*5b) Vous sentez-vous armé pour apprendre dans un monde de la surabondance d'information –notamment scientifique ?.... noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle suivante : Pas du tout 1....tout à fait 4

*5c) Commentaires éventuels .....

*6) Pensez-vous savoir vous poser de meilleures questions pour apprendre ?.... noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*7)Type de connaissances

*7a) Avez-vous l'impression que vos connaissances acquises soient différentes parce que vous avez vous-mêmes cherché les réponses, puis avez dû les écrire et les présenter ?....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout différentes 1 ...Très différentes 4

*7b) On apprend mieux si on creuse soi-même le sujet, plutôt que d'écouter d'autres le simplifier....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*8) Au début de l'année une question vous avait inquiété : " Comment je sais si ce que j'ai trouvé est juste ? "

*8a) Qu'en pensez-vous maintenant ? .....

*8b) En science comment fait-on pour décider ce qui est juste ? .....

*8c) Que pensez-vous, maintenant, en termes d'apprendre la science du fait que le maître ne donne pas souvent "les réponses"...
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Je n'aime toujours pas 1....Finalement c'est bien 4

*8d) Commentaires ? .....

*8e) Que veut dire pour vous, maintenant, "scientifiquement correct" ? .....

*9) Autonomie et encadrement :

9a)Vous êtes-vous sentis autonomes ? (à la fin) .....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas assez autonome 1...trop autonome 4

9b)Vous êtes-vous sentis libres ?(à la fin) .....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas assez libre 1...trop libre 4

9c) Commentaires. .....

*10) Le wiki a plutôt joué le rôle de
*10a) Mémoire d'une séance à l'autre ? ....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*10b) Passage de témoin pour collaborer sur le même document ?...
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*10c) Support pour faire la synthèse.... noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*10d)Aide à la structuration des idées.... noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle :Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*10e) Support pour l'exposé.... noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*10f) "Awareness" : conscience que les autres contribuent effectivement....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*10g) Autre éventuel .....

*11) Avez-vous changé votre manière de voir

*11a) Le rôle de l'écriture pour apprendre ? .....

*11b) L'écriture à plusieurs sur un document ? .....

*11c) La relecture-écriture de textes écrits par des autres ? ....

*12) Pensez-vous que "il me sera important de savoir apprendre, étudier et travailler en équipe" ?....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Pas du tout d'accord 1...Tout à fait d'accord 4

*13 a) Le fait de travailler en groupes de 3-4 était-il plutôt :....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Défavorable 1...Bénéfique 4

*13b) En quoi le fait de travailler en équipes était-il bénéfique ou défavorable ? .....

*13c) Le wiki était-il une aide pour le travail de groupe ou un frein ?....
noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle : Un frein 1 ....Une aide 4

*13d) En quoi constituait-il cette aide ou un frein ? .....

*14) Que réutiliserez-vous dans vos apprentissages futurs ?

*14a) L'importance des questions ? .....

*14b) La construction de vos idées en écrivant un texte ? .....

*14c) L'importance d'exposer même quand on ne sait pas tout ? .....

*14d) Le travail en équipes pour confronter les idées ? .....

*15) Globalement par rapport à un cours traditionnel.

*15a) Qu'est-ce qui est mieux ? .....

*15b) Qu'est-ce qui est différent ? .....

*15c) Qu'est ce qui est moins bien ? .....

*16) Autres remarques éventuelles: .....

*17) Quand j'ai une question complexe en biologie je vais chercher dans

17a) des ouvrages académiques on-line comme le Janeway, ... noter un chiffre de 1 à 4 selon l'échelle suivante : 1 jamais … 4toujours

17b) un ouvrage de référence général comme le Campbell, ... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 jamais … 4toujours

17c) Wikipedia, ... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 jamais … 4toujours

17d) d'autres sources .... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 jamais … 4toujours

17e) Pourquoi ces choix ? .....

*18) Avez-vous le sentiment que l'ensemble du cours (les activités, le wiki, le rôle du prof, les collaborations entre élèves, etc.) vous ont aidé à développer votre capacité à :

18a) extraire des informations pertinentes de l'ensemble des ressources disponibles.... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 Pas du tout d'accord… 4 Tout à fait d'accord

18b) Les intégrer pour en faire mes propres connaissances... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 Pas du tout d'accord… 4 Tout à fait d'accord

18c) Communiquer efficacement mes idées.... de 1 à 4 selon l'échelle suivante :1 Pas du tout d'accord… 4 Tout à fait d'accord

Merci d'avoir rempli ce questionnaire.

## 10.7 Annexe : Exemples de questionnaire post-secondaire

Toutes les réponses sont groupées et visibles ici : http://tecfastar.unige.ch/wiki/index.php/FeedBackIblExEleves

*Exemple de questionnaire : Année 2005, envoyé aux élèves de la volée 2004*

Nous avons fait la Cyber 4OS l'an passé et vous êtes dans diverses universités

Je me demande avec le recul : Que pensez-vous de ce bilan fait en cours d'année :

http://tecfaetu.unige.ch/wiki/index.php/BilanEcologie4OS

Notamment :

* Que réutiliserez-vous dans vos apprentissages futurs ?

Vous aviez répondu :

++La méthode de réponse aux questions

++Travail en groupe questions écrire

+Structuration de recherche d'info

+Résumés synthèse

+Récrire avec mes mots,

+Questions et exposés

Qu'en pensez-vous maintenant ?

Vos réponses m'intéressent particulièrement : je fais de la recherche sur ces questions d'apprentissage avec TIC.

C'est cool de répondre par mail ou dans le wiki si vous voulez (mais un mail pour me le dire est bien !?)

*Exemple de questionnaire : Année 2011 envoyé aux élèves de la volée 2010*

Chers Ex-4 BiOS

Nous avons passé une année à faire de la biologie dans un cours organisé autour de l'investigation scientifique.

Je me souviens avec plaisir aussi de vous avoir vus venir à bout avec satisfaction de savoirs difficiles.

Wiki 4OS : création de cours interactive par les élève

J'apprécierais d'avoir votre avis avec le recul sur cette méthode d'apprentissage ? Répondez avec une valeur mais n'hésitez à compléter par un texte libre. Des réponses incomplètes sont pour moi bien mieux que pas de réponse.

1Avez-vous l'impression que vous avez été bien préparés dans ce cours BiOS à faire face à de gros ouvrages scientifiques ?de Pas du tout= 1 -> tout à fait= 4

Réponse :

2 Vous sentez-vous bien armé-e pour apprendre dans un monde de la surabondance d'information : de Pas du tout= 1 -> tout à fait= 4

Réponse :

3 *Pensez-vous avoir acquis plus, autant ou moins de connaissances que dans un cours traditionnel sur les sujets traités (moléculaire, immuno, etc.)*: de Nettement moins bien préparé = 1 -> nettement mieux préparé = 4

Réponse :

4 *Avez-vous l'impression que ce cours vous a aidé-e pour pratiquer l'apprentissage en groupe ?* De Pas bien préparé = 1 -> Très bien préparé = 4

Réponse :

5 Vous êtes-vous sentis autonomes mais suffisamment encadré-e (à la fin). Je me suis senti désorienté-e =1 -> L'autonomie me convenait bien =4 ....

Réponse :

6 *Avez-vous l'impression que ce cours vous a bien préparé pour vos études (uni/epf, etc.) ?* De Pas du tout= 1 -> tout à fait= 4

Réponse :

7 Au début de l'année une question vous avait inquiété : " Comment je sais si ce que j'ai trouvé est juste ? " Qu'en pensez-vous maintenant ? ça reste un problème = 1 -> ce n'est plus un problème = 4

Réponse :

---

Vous le savez, je poursuis une recherche pour rendre les élèves plus autonomes pour construire des connaissances scientifique et adapter l'enseignement de la biologie à un monde de la surabondance d'information. Il y a quelques publications qui en sont déjà sorties. Merci d'y avoir contribué. Vous les trouverez dans ma page publications
Avec tous mes vœux pour votre avenir
Cordialement
F.Lo

## 10.8 Annexe : Exemple de répertoire thématique

Parmi les 38 répertoires thématiques nous illustrons ici celui concernant l'immunologie (état mai 2012)

### 10.8.1 Immunologie

- Janeway et al. Immuno-biology ouvrage complet on-line version française Immunobiologie
- DeFranco, Anthony L et al. (2007) The Immune Response in Infectious and Inflammatory Disease, New Science Press (ressources on-line )
- Male, David. (1999).Immunologie : aide-mémoire illustré 3ème édition, De Boeck Bruxelles
- Infection and Immunity (nature insight)
- Auto-immunity (nature insight)
- Inflammation 2002 (nature insight) Inflammation 2008
- Diapedese (interaction avec inflammation et diapedese des lympho)(Animation @ Harvard) (An)
- Diapedese animée schematique (Ac Créteil Fr)
- Fighting Infection by Clonal Selection Walter and Eliza Hall Institute of Medical Research Animation de l'action du système immunitaire et notamment de la sélection clonale sur youtube

Vaccins

- Vaccins @ La recherche bac to basics | intranetFr
- S. immunitaire la recherche intranet.pdf
- Mode d'action de la cyclosporine
- Les nombreuses molécules de défense contre les bactéries (non-immuno) Review@nature
- La grippe de 1918 : on comprend mieux pourquoi elle a touché ceux dans la force de l'âge : intranet
- vaccins-bactobasics.pdf

Les vaccins et la controverse sur leurs risques

- Les enjeux...faut-il vacciner ?
- Le mecanisme d'action de l'aluminium comme adjuvants de vaccin elucide
- «La vaccination n'est pas une croyance mais bien une science» Claire-Anne Siegrist dirige le Département de pédiatrie de l'Université de Genève répond à M. Georget.
- L'experte en vaccinologie Claire-Anne Siegrist a répondu aux internautes le jeudi 30 avril 2009.
- Stokstad, E. (2003). EPIDEMIOLOGY: Vaccine-Autism Link Dealt Blow. Science, 301(5639), 1454a-1455 : le lien du Thimerosal et l'autisme semble écarté.
- Mandavilli Apoorva (2007) Unreasonable doubt | Nature 15 June 2007| doi:10.1038/news070611-13
- Le CDC : Frequently Asked Questions About Thimerosal

Le système immunitaire : encore mal compris.

- Test clinique qui a mal tourné : comprendre ce qui s'est passé. | Intranet
  - Puissante molécule mais mal comprise ?
  - Serait-ce la faute du médicament TGN 1412 testé ?

- Inserm : Analyse des enjeux de protection des personnes suite à l'accident londonien de mars 2006.

Divers

- Emma Marris, Immune to the highNature Medicine 14, 358 - 361 (2008) doi:10.1038/nm0408-358
- les 2 temps de l'allergie (S&V junior)

Allergies,et l'hypothèse hygiéniste : le système immunitaire comme une gestion du cheptel bactérien

- L'amélioration de l'hygiène favorise les maladies auto-immunes (La Recherche) intranet
- Galli, Stephen J. et al. (2008)Review Article :The development of allergic inflammation ature 454, 445-454 (24 July 2008) | doi:10.1038/nature07204; Published online 23 July 2008 intranet.pdf
- Maria Yazdanbakhsh, et al. Allergy, Parasites, and the Hygiene Hypothesis (19 April 2002), Science 296 (5567), 490. [DOI:10.1126/science.296.5567.490]|intranet.pdf
- Comprendre le *Choc anaphylactique* sauvera des allergies graves ?
- Link from hygiene to allergies gains support. intranet.pdf
- Infections may trigger metal allergies intranet.pdf
- Mice saved from lethal allergic reaction intranet.pdf
- Galli et Al. (2008) The developpment of allergic inflammation nature insight doi:10.1038/nature07204
- Le rôle du système immunitaire chez les vertebres remis en question ? (intranet.pdf)
- Trop d'hygiène nuit à la santé : coopération.| intranet.pdf
- Les microbes du bébé viennent de la mère ...
- Moins d'allergies grâce au lait de ferme ?IntranetSwissinfo Intranet
- Auto-immunité et pathogènes intranet.pdf
- Une-nouvelle-voie-pour-le-systeme-immunitaire intranet.pdf
- La césarienne favorise l'asthme ?
- Anna Petherick Growing up under the guidance of bacteria | NatureNews 5 November 2008

Les bactéries comme un cheptel utile

- La corps humain à la loupe proportions de bactéries selon les régions du corps humain La Recherche, mai 2009 p. 35
- Soigner par les bactériesle role de bactéries intestinales dans plusieurs maladies La Recherche, mai 2009
- Cecile Klingler (2010) Ces bactéries qui font l'homme La RECHERCHE |04.2009 | intranet.pdf

*10.8.1.1.1 la tolérance de l'embryon*

- La survie du bébé tient à une protéine intranet.jpg
- Tolerating Maternal Influences Science Roundup 12 déc 2008

## 10.9 Annexe : Liste des conjectures (CJ) et éléments de design (ED)

Pour faciliter la lecture cette page sera dépliante et pourra être maintenue visible tout en lisant le document

Nous avons rassemblé ici les principales conjectures (= CJ) issues du cadre théorique, qui fondent le dispositif, ainsi que leur incarnation sous forme d'éléments de design (= ED) qui définissent des caractéristiques significatives pour la recherche, et qui conduiront dans la conclusion à des recommandation de design (= RD) dont la portée et les limites seront discutées.

La forme abrégée est présentée à la suite d'une description plus élaborée.

- CJ1 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources
  - *L'authenticité des ressources conduit au paradigme*
- CJ2 : L'investigation peut conduire depuis des questions vagues vers les questions précises et pertinentes correspondant aux concepts structurants du paradigme
  - *Les questions vagues convergent vers les concepts structurants.*
- CJ3 : L'investigation peut satisfaire les exigences curriculaires et approfondir les notions tout en respectant la dévolution des questions
  - *L'IBL peut garantir la couverture curriculaires approfondie et dévoluer les questions.*
- CJ5 : Faire exprimer aux élèves ce qu'ils savent permet des confrontations socio-cognitives qui peuvent conduire à l'apprentissage
  - *Ecrire/dire permet des confrontations socio-cognitives pour apprendre*
- ED1 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes
  - *Unicité conceptuelle des questions et réponses exigée.*
- ED2 : Les apprenants et l'enseignant partagent un but d'amélioration des connaissances de la communauté
  - *But d'amélioration de connaissances partagé.*
- ED3 : Le dispositif est structuré sur la base de l'interdépendance positive et la responsabilité individuelle pour favoriser les interactions coopératives
  - *Structure coopérative IP et RI.*
- ED4 : L'autorité scientifique (dans les ressources) est séparée de l'autorité pédagogique (auprès de l'enseignant)
  - *L'autorité scientifique et pédagogique séparées.*
- ED5 : La validation des savoirs est progressivement dévolue aux élèves
  - *Validation progressivement dévolue.*
- ED6 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré
  - *L'IBL manifeste ses effets dans la durée.*
- ED7 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves

- *Les changements d'attitude et de contrat didactique nécessitent des effets concrets sur les élèves.*

- ED8 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables
  - *Confiance exprimée que les élèves peuvent construire des connaissances.*
- ED9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves
  - *Alignement objectifs partagés – activités – évaluation.*
- ED10 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance
  - *Evaluation formative bienveillante, certificative sans complaisance*
- ED11 : Un espace d'écriture partagé manifeste les consensus négociés – notamment les questions d'investigation en vigueur
  - *Consensus et questions négociées manifestés dans un espace d'écriture.*
- ED12 : Des présentations aux pairs (confrontation – mutualisation) ont lieu tôt dans l'investigation. Dès que les questions marquent l'ensemble du champ conceptuel
  - *Présentations confrontation – mutualisation tôt.*
- ED13 : L'investigation est étayée par la co-écriture de l'état actuel de compréhension des phénomènes étudiés dans un artefact conceptuel (espace d'écriture partagé)
  - *La co-écriture partagée étaye la compréhension.*
- ED14 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances
  - *Itérations nombreuses d'écriture guidée.*
- ED15 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène
  - *Ressources nombreuses de qualité hétérogène.*
- ED16 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs
  - *L'investigation est pilotée par des questions négociées.*
- ED17 : L'investigation se manifeste dans l'écriture d'un document déterminant pour la réussite aux examens de toute la classe
  - *Un document qui fait du sens.*
- ED18 : Le dispositif est focalisé explicitement sur les apprentissages de contenus biologiques approfondis
  - *Approfondir la biologie comme but manifeste.*
- ED19 : Laisser le dispositif faire ses preuves en termes d'apprentissages et de notes avant d'aborder les questions métacognitives comme discuter les stratégies d'apprentissages
  - *Des preuves d'efficacité avant la métacognition.*
- ED20 : Un rôle d'expert – spécialiste d'une partie du champ, responsable réciproque devant les pairs d'expliquer – favorise l'approfondissement conceptuel
  - *Un rôle d'expert réciproque favorise l'approfondissement conceptuel.*

- ED21 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes
    - *Le feed-back de l'enseignant suscite les conflits cognitifs.*
- ED22 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité
    - *Respecter la territorialité dans le texte d'autrui.*
- ED23 : Faire produire et utiliser des textes de pairs peut développer la prise en compte de la source lors de l'évaluation d'un texte
    - *Etre auteur favorise l'évaluation selon la source.*
- ED24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation
    - *Tolérer le langage familier des élèves au début.*
- ED25 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs

  *La répartition créée l'interdépendance positive (IP)*
- ED26 : L'autorité pédagogique peut être inscrite dans la structure du design afin de délimiter un cadre qui délimite mais donne la liberté aux élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle

  La liberté des élèves est définie par le cadre que l'enseignant définit dans la structure.

## 10.10 Annexe : Liste des recommandations de design proposées (RD)

Cette liste regroupe les recommandations issues de l'analyse des dispositifs qui peuvent guider la conception de dispositifs d'enseignement des sciences et plus particulièrement de la biologie.

*RDA1 : Susciter la responsabilité par les élèves d'une partie des savoirs face aux pairs*

*RDA2 : Susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie*

*RDA3 : Transférer aux ressources la validation scientifique des connaissances, conserver l'autorité pédagogique*

*RD4 : Dévoluer progressivement la validation des savoirs recherchés*

*RD5 : Exposer les idées en construction aux pairs et encourager la confrontation socio-cognitive*

*RD6 : Laisser les "bonnes questions" émerger de la confrontation aux ressources authentiques dans le paradigme, susciter cette confrontation si nécessaire*

*RD7 : La confrontation à des ressources authentiques conduit l'investigation vers le paradigme dont sont issues ces ressources*

*RD8 : L'investigation est pilotée par des questions négociées en rapport avec les objectifs*

*RD9 : Les objectifs, les activités et l'évaluation sont alignés et partagés avec les élèves*

*RD10 : Les réponses doivent traiter le concept défini par la question : unicité conceptuelle des questions et des réponses correspondantes*

*RD11 : Les effets éducatifs n'apparaissent dans la durée qu'une fois le contrat didactique IBL élaboré*

*RD12 : Les changements d'attitude et de contrat didactique résultent d'actions et de situations suivies d'effets perçus par les élèves*

*RD13 : L'enseignant exprime la confiance que les élèves peuvent développer des connaissances valables*

*RD14 : L'enseignant doit intervenir pour qu'une question au moins colonise chaque secteur important du champ conceptuel et évite les zones d'ombre conceptuelle*

*RD15 : L'effet centripète peut assurer que des questions mal posées se développent vers les bonnes questions du paradigme*

*RD16 : La transition des activités peut être pilotée en observant la colonisation du champ conceptuel et l'émergence de la complexité épistémique*

*RD17 : Laisser aux élèves le choix des thèmes et des questions au début pour susciter l'engagement et la motivation, puis affirmer le guidage des questions plus directement en référence aux objectifs et à la structure des savoirs*

*RD18 : Etayer le dispositif dans un artefact conceptuel permettant à tous les participants la co-écriture à distance, facilitant les révisions, et l'identification des changements*

*RD19 : Décomposer le champ curriculaire en thèmes se chevauchant légèrement qui seront distribués aux groupes d'investigation favorise l'interdépendance positive et la responsabilité face aux pairs*

*RD20 : Les élèves assument la responsabilité de la synthèse écrite d'un sous-thème dans un document vital pour le groupe*

*RD21 : Une évaluation formative bienveillante et encourageante qui soutient l'apprentissage vers les objectifs, clairement séparée de l'évaluation certificative administrée en fonction des objectifs, mais sans complaisance*

*RD22 : Des itérations nombreuses de (co) écriture guidée par un feed-back constructif peuvent étayer la construction des connaissances*

*RD23 : Le feed-back de l'enseignant vise à créer conflits cognitifs en relevant des incohérences ou des différences d'explication intra-texte, inter-textes et avec des ressources externes*

*RD24 : Au début de l'investigation tolérer le langage familier des élèves, et le formaliser lors de l'institutionnalisation*

*RD25 : Le feed-back dans le texte d'autrui est géré en respectant le principe de territorialité*

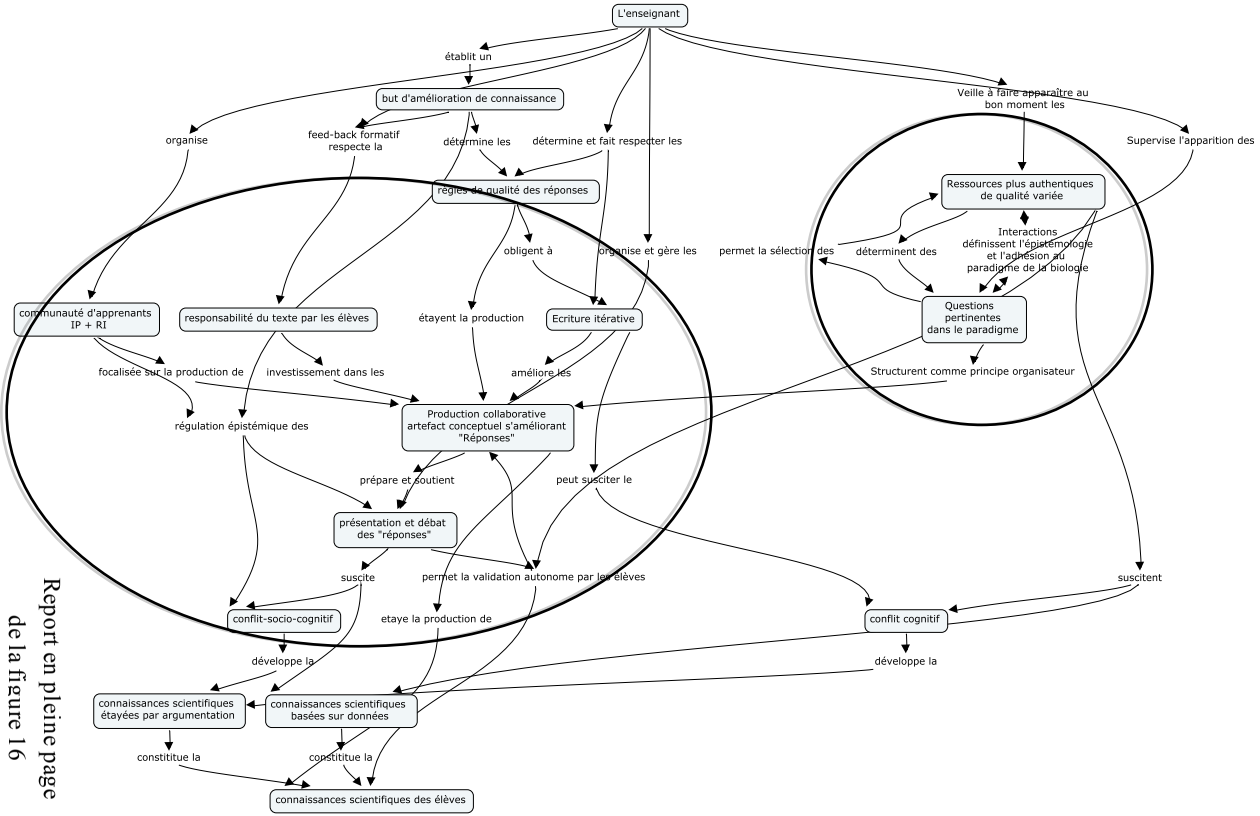
*RD26 : Les apprenants sont confrontés à des ressources très nombreuses et de qualité hétérogène*

*RD27 : L'autorité pédagogique inscrite en partie dans la structure du design encadre mais affirme la liberté des élèves et libère l'enseignant pour des rôles de régulation conceptuelle et relationnelle*

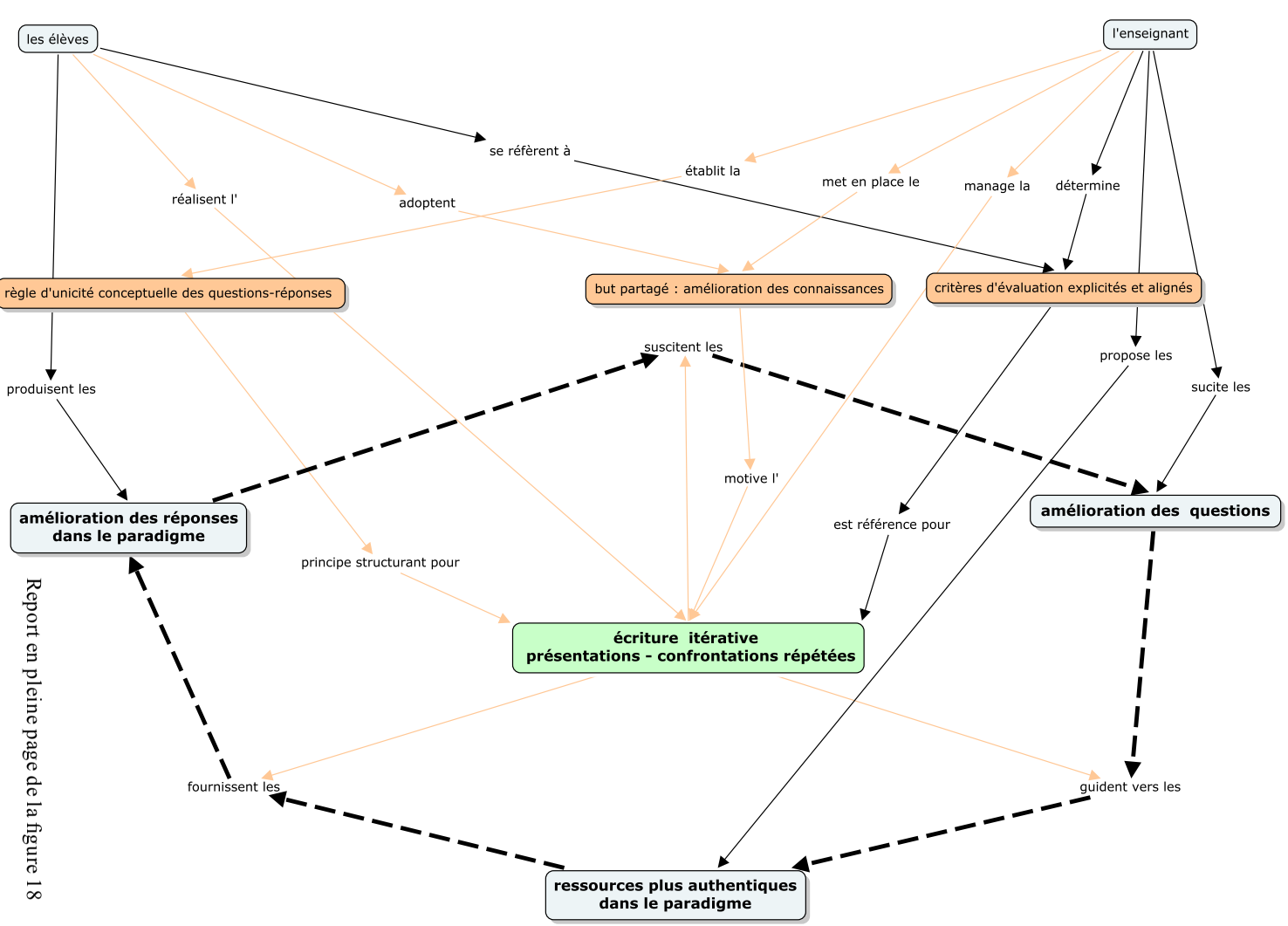
## 10.11 Annexe : Report des figures en pleine page

Les figures dont la lisibilité pourrait être difficile dans le texte sont reproduites en pleine page dans cette section

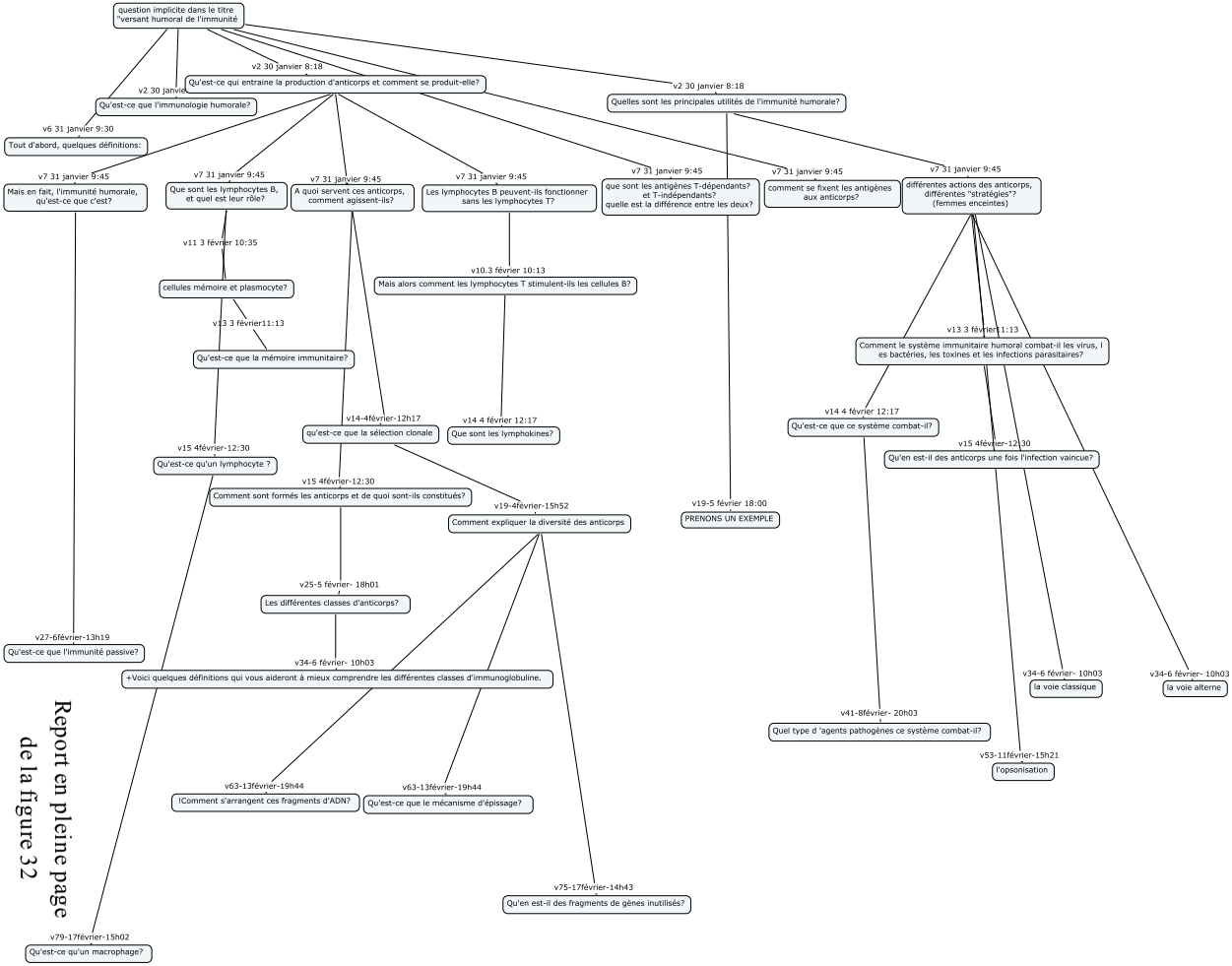
Report des Figures 16, 18, 42, 32, 33, 41



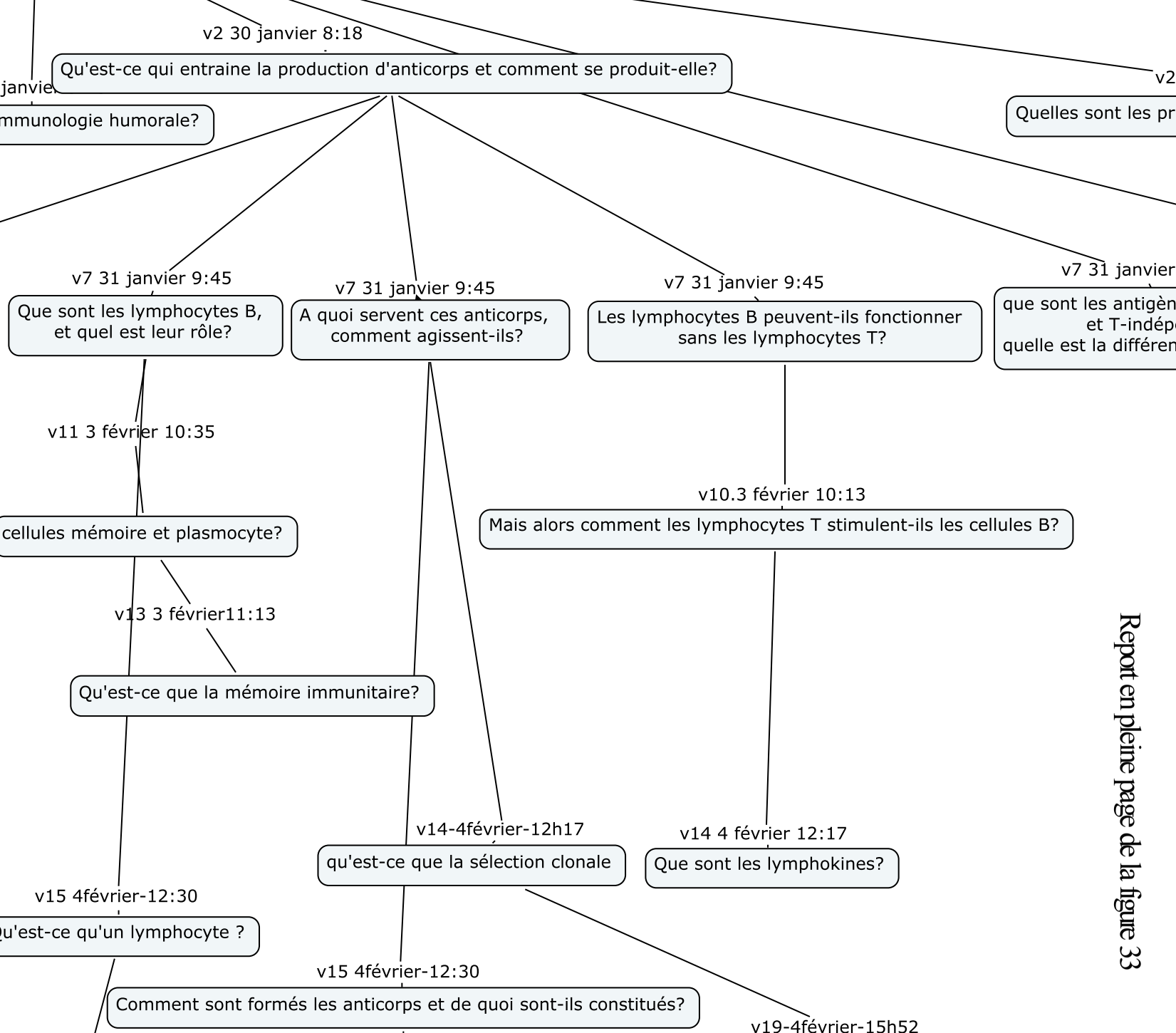

Report en pleine page
de la figure 16




Report en pleine page de la figure 18

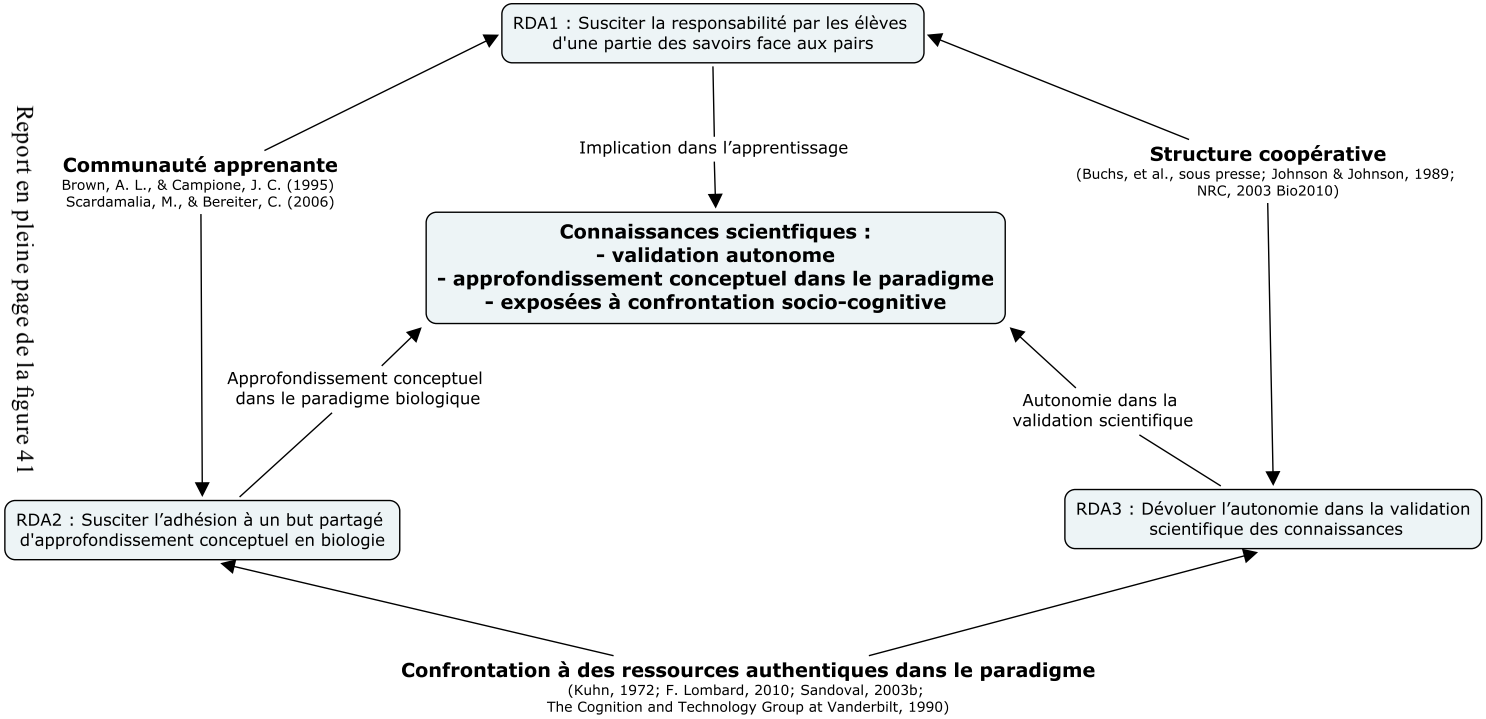


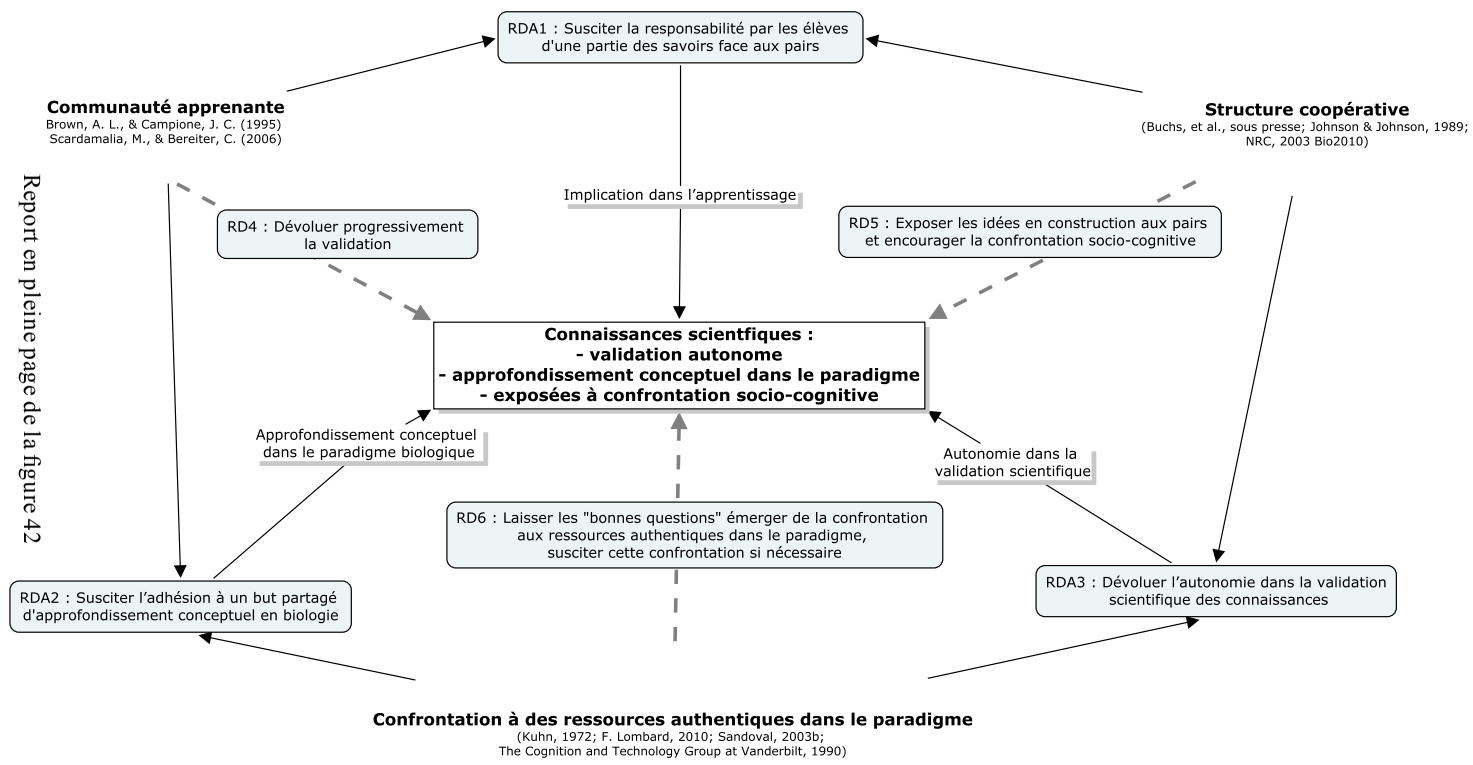

Report en pleine page de la figure 32




Report en pleine page de la figure 33

Report en pleine page de la figure 41




RDA1 : Susciter la responsabilité par les élèves d'une partie des savoirs face aux pairs
Communauté apprenante
Brown, A. L., & Campione, J. C. (1995)
Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2006)
Structure coopérative
(Buchs, et al., sous presse; Johnson & Johnson, 1989; NRC, 2003 Bio2010)
Report en pleine page de la figure 42
Implication dans l'apprentissage
RD4 : Dévoluer progressivement la validation
RD5 : Exposer les idées en construction aux pairs et encourager la confrontation socio-cognitive
Connaissances scientfiques :
- validation autonome
- approfondissement conceptuel dans le paradigme
- exposées à confrontation socio-cognitive
Approfondissement conceptuel dans le paradigme biologique
Autonomie dans la validation scientifique
RD6 : Laisser les "bonnes questions" émerger de la confrontation aux ressources authentiques dans le paradigme, susciter cette confrontation si nécessaire
RDA2 : Susciter l'adhésion à un but partagé d'approfondissement conceptuel en biologie
RDA3 : Dévoluer l'autonomie dans la validation scientifique des connaissances
Confrontation à des ressources authentiques dans le paradigme
(Kuhn, 1972; F. Lombard, 2010; Sandoval, 2003b;
The Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990)

# Fin

Imprimée à Genève, le 13 décembre 2012