



Chapitre d'actes

2019

Published version

Open Access

This is the published version of the publication, made available in accordance with the publisher's policy.

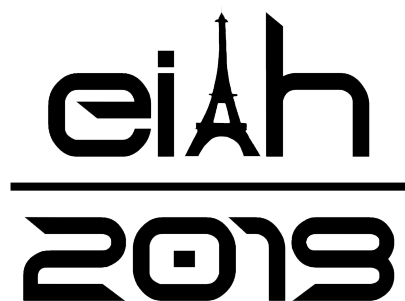
Réalité augmentée pour l'apprentissage conceptuel en sciences: quels principes de conception pour les EIAH ? Cas du dispositif DEAPE LEARN en électromagnétisme

Da Costa, Julien; Szilas, Nicolas; Mueller, Andréas

How to cite

DA COSTA, Julien, SZILAS, Nicolas, MUELLER, Andréas. Réalité augmentée pour l'apprentissage conceptuel en sciences: quels principes de conception pour les EIAH ? Cas du dispositif DEAPE LEARN en électromagnétisme. In: Actes de la 9ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Paris, France. [s.l.] : [s.n.], 2019. p. 181–192.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:120672>



Actes de la 9^{ème} Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain

Données numériques et prise en compte de l'apprenant
dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain

Édités par
Julien Broisin, Eric Sanchez, Amel Yessad, Françoise Chenevotot

Du 04 au 07 Juin 2019
Sorbonne Université, LIP6
Paris, France



La conférence EIAH 2019 a été organisée par le laboratoire LIP6 de l'Université Sorbonne Université (Paris, France),
sous l'égide de l'ATIEF (Association des Technologies de l'Information pour l'Éducation et la Formation)

ISBN : 978-2-901384-01-4

Composition : Julien Broisin, Eric Sanchez, Amel Yessad

Table des matières

Jeux numériques

Éléments de réflexion autour de la conception du jouet pour un jeu sérieux	1
<i>Bertrand Marne</i>	

Analyser la disparition de la gratuité dans les MOOC au prisme des buts d'accomplissement	13
<i>Matthieu Cisel</i>	

Instrumentation des pratiques d'accompagnement par des formateurs et des conseillers en lien avec l'usage d'un serious game	25
<i>Pierre-André Caron</i>	

Analyse d'usage

L'Orthodyssée des Gram - Stratégies d'étagage et verbalisations du raisonnement métalinguistique lors d'interactions logopédiste - enfant autour d'un jeu grammatical en ligne	37
<i>Mireille Rodi, Kostanca Cuko and Thierry Geoffre</i>	

LabNbook, plateforme numérique support des pédagogies actives et collaboratives en sciences expérimentales	49
<i>Cédric d'Ham, Claire Wajeman, Isabelle Girault and Patricia Marzin-Janvier</i>	

Étude empirique sur la ludicisation de classes au Brésil et en Suisse avec Classcraft	61
<i>Guillaume Bonvin, Eric Sanchez and Gonçalves Celso</i>	

Analytique de l'apprentissage et tableaux de bord

Evaluer les apprentissages : comparaison de deux techniques de diagnostic de connaissance	73
<i>Marie Sacksick</i>	

Détection Automatique d'Interactions entre Pairs dans les Jeux Sérieux Multi-Joueurs	79
<i>Mathieu Guinebert, Amel Yessad, Mathieu Muratet and Vanda Luengo</i>	

Moodleboard: un tableau de bord dynamique et interactif pour les ingénieurs pédagogiques	85
<i>Véronique Sebastien, Didier Sebastien and Dominique Gay</i>	

Tableaux de Bord d'aide au Suivi pour la Formation Professionnelle en Ligne: Étude d'Indicateurs et Lignes Directrices	91
<i>Mohamed Mouaici, Laurence Vignollet, Mael Etienne and Christine Galez</i>	

Dispositifs en ligne et hybrides

La (dé-)synchronisation des transitions dans un processus d'évaluation formative exécuté à distance : impact sur l'engagement des étudiants	97
<i>Jean-Francois Parmentier and Franck Silvestre</i>	

Former à la classe inversée en contexte de visioconférence : retours sur deux itérations d'une recherche orientée par la conception	109
<i>Vincent Barré, Florian Meyer, Matthieu Petit, Nathalie Lefebvre and Cécile Gandon</i>	

Comparaison de questions posées et votées en ligne dans le cadre d'une classe inversée	121
<i>Fatima Harrak, François Bouchet and Vanda Luengo</i>	

Analyse d'usage et ingénierie des EIAH

Processus d'évaluation longitudinale (PEL) d'une plateforme pédagogique (LMS) : le cas de LabNbook	133
<i>Nadine Mandran, Patricia Marzin-Janvier, Maëlle Planche, Aous Karoui and Isabelle Girault</i>	

Contribution de différents outils de mesure à l'évaluation des usages d'une plateforme numérique par un processus longitudinal : cas du travail à distance	139
<i>Maëlle Planche, Nadine Mandran, Isabelle Girault, Patricia Marzin-Janvier, Cedric d'Ham and Claire Wajeman</i>	

Modèles et interactions pour générer des événements dynamiques horodatés: le cas de la formation professionnelle à l'organisation des soins infirmiers	145
<i>Catherine Pons Lelardeux, Galaup Michel, Arthur Ramolet, Catherine Mercadier, Lagarrigue Pierre and Hervé Pingaud</i>	

Élaboration d'une méthodologie d'instrumentation pédagogique en contexte universitaire . .	151
<i>Vincent Bettenfeld, Christophe Choquet, Crétin-Pirolli Raphaëlle and Claudine Piau-Toffolon</i>	

Ingénierie des EIAH

Dispositif d'évaluation pour un certificat d'aptitudes cliniques : quelles mesures pour quelles compétences ?	157
<i>Olivier Catteau, Odile Beyne-Rauzy, Anne Mayere and Nicolas Savy</i>	

Génération de scénarios adaptés dans un jeu d'apprentissage selon une approche dirigée par les modèles	169
<i>Pierre Laforcade and Youness Laghouaouta</i>	

Réalité augmentée pour l'apprentissage conceptuel en sciences : quels principes de conception pour les EIAH ? Cas du dispositif DEAPE LEARN en électromagnétisme	181
<i>Julien Da Costa, Nicolas Szilas and Andreas Mueller</i>	

Modélisation de l'apprenant et feedbacks

Étayer dynamiquement une activité de conception expérimentale en biologie : premiers résultats d'expérimentations	193
<i>Catherine Bonnat and Anne Lejeune</i>	

Français langue de scolarisation : Réflexions sur les référentiels de compétences et l'adaptive-learning	199
<i>Thierry Geoffre and Nathalie Colombier</i>	

Modèle d'Exercices et Parcours d'Apprentissage Prenant en Compte le Raisonnement de l'Élève en Mathématiques au Collège	205
<i>Elann Lesnes-Cuisiniez and Brigitte Grugeon-Allys</i>	

Apprentissage de l'informatique

Reconnaissance de Motifs et Répétitions : Introduction à la Pensée Informatique	211
<i>Yvan Peter, Marielle Léonard and Yann Secq</i>	

Objet Tangible ou Simulation Numérique : Deux Situations Équivalentes pour l'Apprentissage de la Programmation ?	223
<i>Grégoire Fessard, Patrick Wang and Ilaria Renna</i>	

Soutien à l'apprentissage de la programmation : conception et évaluation d'un indicateur sémantique	235
<i>Julien Broisin and Clément Hérouard</i>	

Ingénierie des EIAH

Etudier des objets intermédiaires pour analyser les moments-clés de la conception d'un EIAH	247
<i>Matthieu Cisel</i>	

Muse-Logique: Un Système Tutoriel Intelligent pour l'apprentissage du raisonnement logique	259
<i>Roger Nkambou and Robert Serge</i>	

Modèle et outil pour assister la scénarisation des activités pédagogiques orientées RV	271
<i>Oussema Mahdi, Lahcen Oubahssi, Claudine Piau-Toffolon and Sébastien Iksal</i>	

Analyse d'usage

Ingénierie d'un EIAH doté d'étayages adaptatifs	283
<i>Anne Lejeune, Catherine Bonnat, Viviane Gueraud and Patricia Marzin-Janvier</i>	

"Marketplaces" de l'apprentissage en ligne : appréhender les stratégies des instructeurs . . .	289
<i>David Pontalier and Matthieu Cisel</i>	

Écriture numérique à distance : interventions de co-écriture dans un environnement dynamique	295
<i>Christine Blanchard Rodrigues and Marion Andriamasinoro</i>	

Outils en réseau et interactions entre pairs dans la réalisation d'activités collectives à distance	301
<i>Sonia Androwkha</i>	

Adoption des EIAH

TGRIS : Outil de simulation pour la gestion des émotions dans la formation à l'entretien des conseillers pédagogiques	307
<i>Iza Marfisi-Schottman, Isabelle Vinatier and Elisabetta Bevacqua</i>	
Impact de la personnalisation d'une interface graphique sur l'intention d'adoption d'un EIAH	319
<i>Zeller Arnaud and Mohib Najoua</i>	
L'acceptabilité des tablettes tactiles en classe : étude de l'évolution des perceptions d'élèves du secondaire	331
<i>Julie Mulet, Cécile Van de Leemput, Sandrine Rome, Jan Van der Linden and Franck Amadieu</i>	
Métadonnées	
Un schéma OWL pour la description d'éléments de formation	343
<i>Daniel Antelme, Nicolas Delestre and Nicolas Malandain</i>	
Nodefr-1 : Métadonnées pédagogiques et Web des données	349
<i>Yolaine Bourda, Nicolas Delestre, Romuald Verrier, Erwan Le Gall, Yohan Colmant, Marie Peterlongo and Rosa Maria Gomez</i>	
Posters	
Des jeunes passeurs de pratiques : étude de l'appropriation à partir d'une analyse des données numériques	355
<i>Laëtitia Pierrot</i>	
Experimentation du passage d'une activite debranchée au programme	359
<i>Adam Michel, Patrice Frison and Daoud Moncef</i>	
Un Karaoké pour Entraîner la Prosodie en Lecture	363
<i>Erika Godde, Gérard Bailly and Marie-Line Bosse</i>	
Valorisation des données pour l'amélioration des plateformes d'hébergement de MOOC . . .	367
<i>Frédéric Bigrat, Mélody Laurent and Cécile Méadel</i>	
Apport d'un outil d'intelligence artificielle à l'enseignement-apprentissage des langues . . .	371
<i>Grégory Miras, Marie Lefevre, Najib Arbach, Louis Rapilly and Théo Dumarski</i>	
Évaluation de la satisfaction en formation pour adulte	375
<i>Laurie Acensio, Frédéric Hoogstoel and Luigi Lancieri</i>	
Conception d'un outil d'aide à la compréhension écrite pour les apprenants de français langue étrangère	379
<i>Yuming Zhai, Gabriel Illouz and Anne Vilnat</i>	
Soutien à la régulation cognitive et émotionnelle de l'apprentissage à distance : Intégration d'outils au design pédagogique d'un cours hybride	383

Bernies Maud and Molinari Gaëlle

La collaboration dans une recherche orientée par la conception : l'exemple de PLAY **387**

Elsa Paukovics

Interactions en jeu dans les situations d'apprentissage instrumenté en Arts Visuels **391**

Ana-Vanêssa Lucena

Prototype de feedback visuel des productions écrites d'apprenants francophones de l'anglais
sous Moodle **395**

Nicolas Ballier, Thomas Gaillat and Erin Pacquetet

Réalité augmentée pour l'apprentissage conceptuel en sciences : quels principes de conception pour les EIAH ? Cas du dispositif DEAPE Learn en électromagnétisme

Julien Da Costa¹, Nicolas Szilas¹, Andreas Mueller²

¹Université de Genève, TECFA - FPSE, 42 bd Pont-d'Arve, CH-1211 Genève 4, Suisse.

Julien.dacosta@unige.ch, Nicolas.Szilas@unige.ch

²Université de Genève, IUFE Sciences, 42 bd Pont-d'Arve, CH-1211 Genève 4, Suisse.

Andreas.mueller@unige.ch

Résumé. DEAPEL est un dispositif de réalité augmentée spatiale visant à soutenir la compréhension conceptuelle des phénomènes de champs électriques et magnétiques. Nous présentons ici un cadre théorique liant l'étude de la réalité augmentée aux recherches en apprentissage multimédia, changement conceptuel et didactique des sciences ainsi que ses implications pour la conception d'EIAH en réalité augmentée. Nous présenterons l'artefact issu de cette perspective et discuterons des observations issues de démonstrations publiques du dispositif.

Mots-clés. Réalité augmentée ; Apprentissage Multimédia ; changement conceptuel ; didactiques des sciences ; Conception des EIAH ;

Abstract. DEAPEL is a spatial augmented reality device designed to support the conceptual understanding of electric and magnetic field phenomena. We built a theoretical framework linking the study of augmented reality to researches in multimedia learning, conceptual change and didactics. We outline design principles for TEL development with augmented reality, present the artefact and discuss preliminary observations from public demonstrations of the device.

Keywords. Augmented reality; Multimedia Learning; conceptual change; sciences didactics; TEL development;

1 Introduction

Les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) sont des environnements complexes, articulant des travaux liés à l'informatique et à l'apprentissage. La recherche en EIAH est largement expérimentale, théories et applications avancent ensemble, prenant en compte simultanément l'objectif didactique de l'artefact et son ingénierie [1]. La transposition des principes de psychologie cognitive et des didactiques disciplinaires au domaine des EIAH offre des lignes de conduite *permettant de dépasser le traitement ad hoc des problèmes* [2]. Nous présentons ici un dispositif d'expérimentation augmentée des phénomènes électromagnétiques fondé sur une méthodologie de type *Design Science*¹ [3].

¹Cette approche s'appuie sur des recommandations de recherches pour développer un artefact innovant visant la résolution d'un problème identifié en apportant une contribution prescriptive

Le dispositif prend comme point de départ les recherches en didactiques des sciences indiquant que les étudiants disposent de connaissances parcellaires sur les concepts de base de l'électromagnétisme, abordent l'apprentissage des phénomènes avec des représentations alternatives aux modèles scientifiques, utilisent des définitions et des formules mathématiques routinières sans réelle compréhension conceptuelle [4, 5]. Il a notamment été mis en évidence que les élèves peuvent calculer une différence de potentiel dans des schémas complexes et abstraits, mais ne peuvent prédire ce qui se produit sur le courant, la tension, la luminosité d'une ampoule dans des circuits beaucoup plus simples utilisant une iconographie réaliste [6]. On observe que les étudiants de niveau secondaire comme universitaire ont des scores faibles sur les échelles de test conceptuel et même les étudiants ayant les meilleurs scores aux examens montrent des erreurs de compréhension sur les concepts centraux [7].

La réalité augmentée (RA), en associant/superposant en temps réel des modélisations scientifiques aux phénomènes physiques observables, est souvent présentée comme une technologie possédant un grand potentiel pour résoudre ces difficultés [8]. Toutefois peu de travaux l'ont encore investiguée sous l'angle du changement conceptuel et les principes de conception d'EIAH dans cette perspective restent limités. C'est pourquoi nous développons dans un premier temps un cadre d'étude pour l'étude de la RA sous la perspective du changement conceptuel. Nous présentons dans un second temps ces implications dans le développement de DEAPE Learn un dispositif de réalité augmentée spatiale soutenant la compréhension des phénomènes de champs électriques et magnétiques et généralisons un modèle pour le développement d'EIAH sous cette perspective. Enfin nous discuterons des observations préliminaires issues de démonstrations publiques du dispositif.

2 Cadre théorique

2.1 Réalité augmentée en contexte éducatif

La « réalité augmentée » est classiquement définie comme une sous-composante du concept de réalité mixte [9], décrivant une forme d'interaction entre l'utilisateur et la machine basée sur l'association plus ou moins prononcée d'objets réels et virtuels (numériques). Nous la présentons dans un contexte éducatif comme une interface *énactive*, permettant la superposition *sémantique*, spatiale et temporelle de multiples représentations sémiotiques à un contexte physique tangible et situé². Cette vision n'est pas liée à une quelconque technologie et révèle les caractéristiques sémio-cognitives d'un EIAH avec une forte composante interface-homme-machine médiant l'interaction et la compréhension du réel (fig. 1). Malgré l'ancienneté de la RA son usage en éducation reste relativement récent et son potentiel loin d'être complètement étudié. Plusieurs méta-analyses se sont intéressées aux affordances de la RA pour l'éducation [10–12] et soulignent la difficulté de comparaison des dispositifs tant ces derniers sont divers du point de vue des technologies utilisées, des finalités et contextes d'usage.

² *Enactive* car centrée sur l'interaction entre cognition, action et environnement ; *sémantique* car il existe une certaine relation de sens entre visualisation numérique et le contexte.

L'utilisabilité du système est souvent une composante clé et de nombreuses études relatent que les dispositifs à l'appropriation complexe se révèlent pénalisants pour l'apprentissage [12].

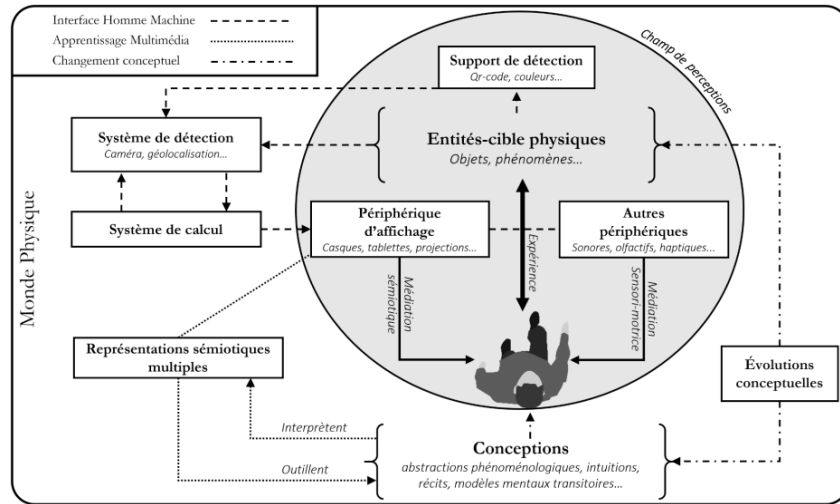


Fig. 1. Modélisation de notre cadre de référence

Dans le contexte de l'enseignement des sciences [8] la RA est principalement utilisée au sein de dispositifs de type *apprentissage par problèmes* ou *investigation*. Les résultats obtenus du point de vue de la compréhension conceptuelle sont encourageants [13] et peuvent se révéler supérieur à des dispositifs utilisant des simulations 2D ou 3D [14]. Certains travaux [15–17] constatent notamment que la manipulation de marqueurs en RA réduit le niveau d'abstraction en fournissant des référents scientifiques et spatiaux concrets pour l'apprenant, facilite la manipulation et augmente la concentration sur l'explication scientifique du phénomène étudié. L'efficacité pédagogique semble cependant fortement dépendante du design et de la scénarisation des activités, il semble ainsi nécessaire de resserrer les liens entre les théories de sciences de l'éducation et le développement d'environnement RA [18].

2.2 Changement conceptuel et modèle d'intégration de connaissance

Pour le champ de recherche en changement conceptuel [19], tout individu se représente la réalité et les représentations mentales constituent le point d'ancrage à toute construction du savoir. Ces représentations mentales (sous forme fragmentaires ou organisées) sont observables (entretiens, traces, productions) de manière récurrente chez les apprenants mis en situation de manière identique et doivent nous donner matière à penser la conception des environnements d'apprentissage.

Quel que soit le domaine, la formation, et l'âge de l'individu la formation de représentations erronées d'un point de vue scientifique fait partie du processus « normal » de construction de connaissances [20]. Le terme « erroné » n'est pas

toujours « intrinsèque » au concept mais une erreur dans sa mise en œuvre – l'apprenant activant spontanément des conceptions en réponse à certaines situations et à sa stratégie de lecture de celles-ci. Il n'y a donc pas nécessairement rupture entre conceptions naïves et expertes, certaines ne sont pas fausses (car valides dans de nombreux contextes), mais souvent insuffisamment coordonnées, priorisées et contextualisées par les étudiants. L'expression même de « changement » conceptuel peut prêter à débat lorsque de récents travaux en neurosciences tendent à démontrer que les conceptions naïves ne disparaissent jamais du cerveau des experts, mais « cohabitent », et seraient simplement inhibées plus efficacement par ces derniers [21, 22]. Si les conflits cognitifs sont inhérents à l'acquisition de connaissances, leur résolution est un processus plus complexe, idiosyncratique et sensible au contexte. Il ne s'agit pas tant d'aider l'étudiant à *changer* ses conceptions mais à *adopter* de nouvelles conceptions en connaissant leurs domaines de validité et en reconnaissant les situations où elles s'appliquent et celles où elles ne s'appliquent pas (inhibition). Un modèle d'intégration de connaissance [23] consiste à concevoir des scénarios d'enseignement s'attachant à faire évoluer un ensemble plus ou moins disjoints d'idées sur les phénomènes à travers différents contextes sensibles et identifiables par l'apprenant. A cette fin les technologies éducatives jouent un rôle important [24] par leur capacité à représenter, simuler, étayer, « rendre visible l'invisible ». Pour autant la manière dont les étudiants interagissent et « pensent » avec les visualisations numériques, de surcroît dans un environnement de réalité physique et virtuel n'est pas neutre et est discutée ci-après.

2.3 Enjeux des visualisations en sciences

La nature des phénomènes en sciences ne nous étant pas directement perceptible et compréhensible, la recherche développe des modèles pour l'appréhender et décrit ces derniers à l'aide de représentations sémiotiques structurées et conventionnelles (textes, équations mathématiques...) ou de relations visuelles analogiques (dessins, maquettes...) [25]. Ces représentations permettent de décrire un modèle scientifique sous trois niveaux : macroscopique (ce que l'on voit, sent, expérimente), sub-microscopique (entités qui sous-tendent le niveau macroscopique et donne lieu à ce qui est perçu), symbolique (abstraction souvent mathématique du phénomène) [26].

L'importance du rôle des visualisations dans la conceptualisation est aujourd'hui bien établie [27]. Ces dernières sont des outils pour « penser » les phénomènes, faire des inférences, résoudre des problèmes [28]. De manière plus large, les visualisations sont des objets épistémiques faisant partie intégrante du processus de la science³. Elles ne sont toutefois pas une « panacée » car l'enseignement de la physique est complètement multimédia et apprendre demande aux étudiants de pouvoir générer, interconnecter, traduire et utiliser adéquatement plusieurs représentations sémiotiques pour résoudre des problèmes (fig. 2). La capacité de passer d'un système de représentation à un autre est très souvent le seuil critique de progrès dans la résolution de problèmes [29] et un nombre croissant de recherches en soulignent l'enjeu en enseignement des sciences [30]. Il est notamment constaté [31] que face à de multiples représentations d'un phénomène physique les étudiants : (1) n'utilisent qu'un seul type

³ En électromagnétisme les lignes de champs en sont un exemple emblématiques aussi bien par le rôle qu'elles ont joué dans l'avancée des savoirs que par leur usage en enseignement.

de représentation (la plus familière et concrète pour eux) ; (2) ne permutent entre les représentations qu'en cas de problème avec la représentation en cours ; (3) ont besoin d'être soutenus dans leurs processus de formation de cohérence⁴.

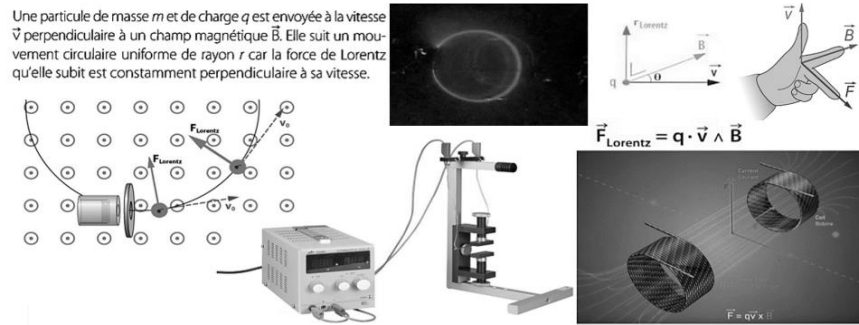


Fig. 2. Représentations de la force de Lorentz à interconnecter par un étudiant.

Plus généralement une littérature extensive dans le domaine de l'apprentissage multimédia a démontré que la confrontation des apprenants à de multiples représentations n'est pas automatiquement efficace. D'une part car les représentations ne répondent pas toujours à certains principes de conception respectant des considérations cognitives et contextuelles. D'autre part car l'apprentissage multimédia est exigeant et conséquemment implique de réduire au minimum le nombre de représentations nécessaires à l'atteinte de l'objectif d'apprentissage. Les principes de conception issues de la recherche empirique en apprentissage multimédia [32] offre sur ce sujet un cadre conceptuel bien étayé pouvant être transposé aux environnements RA.

3 Dispositif DEAPE Learn

Dans le cadre de notre problématique initiale nous avons développé un prototype de réalité augmentée spatiale permettant d'associer différentes représentations scientifiques aux phénomènes visibles des champs électriques et magnétiques. Le système offre la possibilité de manipuler les véritables objets visés par la connaissance (aimants, boussoles, circuits de courant câblés) et de projeter en temps réel (~45 images/secondes) textes, formalismes mathématiques et visualisations de manière dynamique et spatialement cohérente (précision d'environ 5 millimètres) (fig. 3). Les projections du dispositif sont basées sur des modèles mathématiques avancés afin de correspondre le plus fidèlement possible aux phénomènes observés en tout point de l'espace. La reconnaissance des objets est assurée par un système robuste de suivi de couleur et la calibration caméra-vidéoprojecteur est assurée par le kit de développement sous licence libre PapArt - Paper Augmented Reality Toolkit [34].

⁴ Processus cognitif consistant à créer des connections référentielles entre divers éléments correspondants et différentes structures correspondantes au sein de multiples représentations

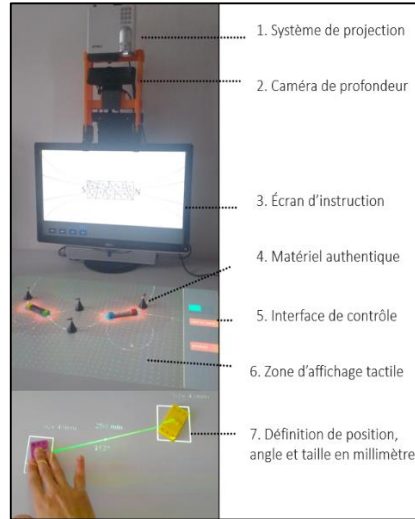


Fig. 3. Artefact technique

Afin d'assurer le guidage de l'apprenant (ou groupe de 2 ou 3 apprenants selon le scénario) le système dispense des consignes orales ou écrites sur l'écran (hors-zone de projection). Lors des manipulations expérimentales, l'élève peut permuter entre différents types de représentations soit par l'ajout d'un objet nouveau – connu du système – dans la zone de projection, soit par contacts tactiles sur la table (un contact du doigt étant reconnu comme un clic).

Principes de conception

Ce dispositif a la particularité d'intégrer dans son design notre paradigme d'étude en focalisant son intervention à quatre niveaux (fig. 4). Le modèle propose de partir des difficultés conceptuelles (A), de construire sur l'expérience sensible des phénomènes

associés (B), puis de scénariser les interactions entre entités numériques et physiques (C) en contrôlant la charge cognitive associée à la manipulation du dispositif et du traitement multimédia (D).

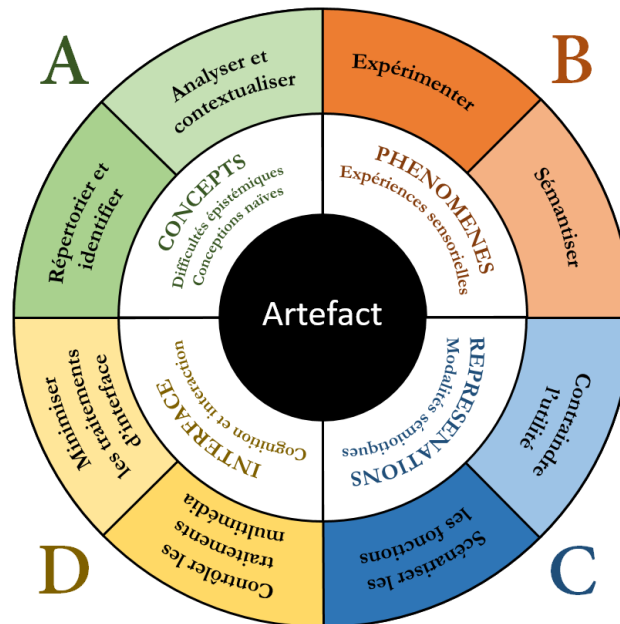


Fig. 4. Domaines d'interventions de notre paradigme d'étude

A. Partir des difficultés conceptuelles

A.1 Répertoire et identifier. Il s'agit d'identifier les difficultés conceptuelles à prendre en compte dans la conception du dispositif. Ces dernières sont bien documentées et une revue des tests standardisés, de la littérature et des bases de données didactiques suffit à construire un répertoire propre au sujet d'étude. Dans le cadre de DEAPE Learn citons notamment [35, 36] et les tests standardisés [7, 37]. Il peut toutefois se révéler nécessaire de concevoir une enquête préalable par entretiens pour identifier les difficultés conceptuelles sur des sujets moins documentés.

A.2 Analyser et contextualiser. L'étape suivante consiste à identifier les phénomènes physiques observables associés aux difficultés identifiées. Il s'agit de lier le dispositif à l'observation quotidienne, à l'expérience sensible de l'apprenant. Dans le cadre de DEAPE Learn l'attraction/répulsion des aimants, l'interaction des boussoles, la réaction de différents matériaux, le champ magnétique généré par une bobine de courants, sont autant de composantes phénoménologiques expérimentables.

B. Construire sur l'expérience sensorielle des phénomènes. La recherche suggère que les représentations physiques et virtuelles ont des capacités cognitives complémentaires pour l'apprentissage conceptuel des étudiants [38]. Sans être suffisante en elle-même, l'expérience reste centrale pour aider à dépasser certaines croyances sur les phénomènes physiques et permet de réifier certaines abstractions en les rattachant à des situations concrètes pour l'apprenant.

B.1 Expérimenter. L'expérimentation se distingue de la simulation. Cette dernière utilise un modèle computationnel qui simplifie le phénomène étudié et en contraint l'usage. Il est ainsi impossible d'en détourner la finalité (impossible d'ajouter un aimant si la simulation n'en prévoit que deux, de mettre spontanément un autre objet entre les deux aimants si le scénario ne le permet pas) ou de mettre en défaut le modèle (l'aimant est idéalisé par rapport à un véritable aimant). Dans notre approche le phénomène est authentique (donc présenté dans toute sa complexité). La manière dont l'apprenant interagit avec l'objet d'étude est beaucoup plus idiosyncratique et reflète de sa compréhension et interprétation de la situation.

B.2 Sémantiser. La relation de sens entre l'objet physique manipulé et les visualisations numériques (fig. 5, à droite) est essentielle dans cette approche et se distingue fortement des dispositifs dont l'objet manipulé (ex : QR-tag) a pour seule fonction de fournir un support à l'intégration spatiale des représentations numériques (fig. 5, à gauche).



Fig. 5. (Gauche) Affichage d'un circuit électrique en manipulant des supports de détection papier. (Droite) lien sémantique dans DEAPE Learn entre aimants authentiques et éléments virtuels

C. Scénariser l'interaction des représentations. La mise en lien de multiples représentations d'un phénomène est nécessaire à la compréhension, cependant cette interconnexion est notoirement difficile pour les étudiants. Il convient donc de réduire le nombre de représentations simultanées au minimum, de favoriser les permutations et de rendre saillant les liens entre-elles (dyna-linking) [33].

C.1 Contraindre l'utilité des représentations. La situation didactique doit contraindre l'apprenant à faire usage de représentations différentes pour résoudre un problème. Contrairement à un usage répandu il ne s'agit pas d'associer les représentations et de les animer conjointement mais plutôt de laisser l'apprenant permuer entre chaque en le guidant vers un usage approprié en fonction de la situation à analyser.

C.2 Scénariser les interactions. Si différentes représentations sont nécessaires à une compréhension effective d'un concept, c'est que ces dernières possèdent des fonctions distinctes et des relations fonctionnelles identifiables. Le modèle DeFT développé par Ainsworth [33] (Framework : Design - Function - Task) offre un cadre pour comprendre la manière dont elles s'agencent pour véhiculer du sens et peut être adapté au cadre de la RA. Les représentations numériques dispensées par le système doivent se compléter. Dans le cadre de la RA le phénomène physique étudié peut s'insérer dans ce modèle et les différentes représentations sémiotiques ont pour vocation de *compléter* l'information sur le phénomène, *contraindre* son interprétation ou *approfondir* sa compréhension (fig. 6).

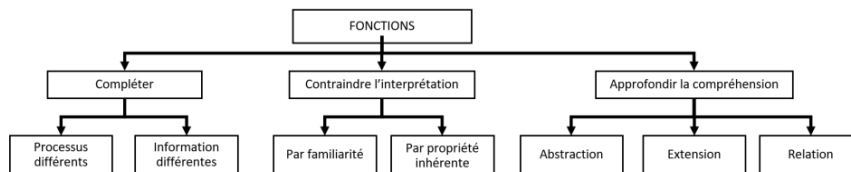


Fig. 6. Rôles fonctionnels principaux des multiples représentations d'après [33]

D. Limiter les traitements cognitifs de l'interface. Un apprentissage signifiant demande l'exploitation de ressources cognitives importantes et toutes ressources mobilisées à la compréhension et manipulation du système de RA se réalise au détriment de l'apprentissage. Nous abordons ce principe selon les deux dimensions suivantes

D.1 Minimiser les traitements d'interface. Consiste à utiliser une interface la plus transparente possible pour l'utilisateur afin de réduire au minimum les traitements cognitifs relatif à son usage. Il convient de limiter les éléments d'interface affichés simultanément et à laisser dans la mesure du possible place à l'interaction physique par manipulation d'objet concret. Pour notre prototype cela se caractérise à titre d'exemple par l'emploi de projections afin de ne pas avoir à manipuler un autre objet que le matériel d'expérience (comme une tablette ou un smartphone) ou à baser le dispositif sur un suivi de couleur pour éviter l'usage de QR-Tag intégrant le champ de perception de l'utilisateur et réduisant l'authenticité de la tâche.

D.2 Contrôler les traitements cognitifs multimédia. A partir des théories cognitives du traitement de l'information, les recherches en apprentissage multimédia ont permis d'identifier une série de principes cadres pour la conception d'environnement pédagogique. Ces principes sont référencés [32] et mis à jours en fonction de résultats d'études empiriques. Sans pouvoir les détailler ici la conception de notre prototype a fait particulièrement usage des principes de *contiguïté*, *modalité*, *cohérence*, *signalement*, *segmentation* et *pré-entraînement* définis par ce domaine. A titre d'exemple, le principe de *contiguïté spatiale et temporelle* – postulant que l'apprentissage est facilité lorsque des informations concordantes sont à proximité – est ainsi aisément exploitable en RA. Dans DEAPE Learn les visualisations de champs sont directement projetées autour des objets expérimentaux et facilitent le traitement spatial de leur mise en lien.

4 Observations préliminaires et discussion

L'interaction avec le dispositif de participants d'âge et de niveau de formation différents a pu être observée au cours de 3 démonstrations publiques de notre prototype. L'activité proposée concernait le fonctionnement d'un aimant permanent au niveau atomique (spin électronique), cristallin (domaines magnétiques) et macroscopique (orientation des pôles) ainsi que la nature du champ magnétique généré. Les participants pouvaient déplacer des aimants droits sur une surface de projection, ajouté des aiguilles aimantées et de la poudre ferromagnétique. Le dispositif permettait d'afficher l'orientation du champ magnétique terrestre, de projeter en fonction de la position et l'orientation des aimants des représentations numérique de leurs structures internes, de la position de leurs pôles, ou encore de leurs champs magnétiques sous forme de vecteurs, de lignes de champ ou d'une carte d'intensité (aperçue à droite fig. 5). L'activité donnait la possibilité d'observer le comportement d'aiguilles magnétiques ou de poudre ferromagnétique et la concordance ou non concordance avec les représentations scientifiques choisies. Ces confrontations publiques nous permettent de partager les observations suivantes :

- Le système se révéla propice à faire surgir les conceptions erronées des utilisateurs sur leur compréhension des aimants. Le fait que tous les métaux ne soient pas aimantés (a), que le magnétisme ne soient pas liés à la répartition de charges électriques positives et négatives à l'intérieur d'un aimant (b), que le champ généré par un aimant se révèle supérieur en intensité à celui de la terre (c) ou que l'orientation de la force d'attraction ne soient pas toujours dirigée de l'objet à l'aimant (d) sont des exemples de « misconceptions » identifiables dans le discours des participants.
- Les manipulations réalisées par les participants donnèrent lieu à des observations non anticipées. Cinq participants au cours des 3 présentations ont réalisé de multiples tentatives de positionnements « extrêmes » pour trouver un moyen de faire tourner une aiguille indéfiniment⁵. Plusieurs participants ont également tenté sans succès de mettre en défaut le modèle en trouvant des positionnements où

⁵ En contradiction avec le deuxième principe de la thermodynamique ou le fait que la force magnétique ne produise aucun travail.

l'orientation des aiguilles ne concorderait pas avec l'orientation des lignes de champs projetées numériquement. Deux participants nous interrogèrent sur la nature des « micromoteurs » qu'ils pensaient dissimulés à l'intérieur des supports des aiguilles, révélant ainsi leurs difficultés à concevoir la notion de champ magnétique en tout point de l'espace.

- L'usage de phénomènes authentiques donna lieu à divers détournements, les participants sortant spontanément des clés de voiture pour les poser sur la surface de projection ou utilisant des stylos entre deux aimants pour stopper l'attraction ou répulsion magnétique.
- La manipulation « naturelle » d'objets physiques semble avoir un effet bénéfique sur l'appropriation du dispositif par les participants mais la grande transparence de l'interface a pu perturber certains. Plusieurs utilisateurs semblent avoir eu du mal à distinguer ce qui relevait de la réalité physique du phénomène de ce qui relevait des augmentations numériques dispensées par le dispositif.
- Certaines manipulations, aisées de manière simulée à l'écran, peuvent être délicates en réalité augmentée. Par exemples les aimants s'attirent ou se repoussent et certaines configurations géométriques demandent de trouver des « astuces » pour les maintenir en place.

5 Conclusion

La présente étude contribue à la recherche sur le développement des EIAH en réalité augmentée dans lesquelles les étudiants construisent des liens entre des concepts nouveaux et leur environnement. Au niveau théorique, cette étude propose un cadre d'analyse issu des champs de recherche en apprentissage multimédia et didactique des sciences. Sans être exhaustif ce cadre éclaire l'étude de la réalité augmentée sous un angle sémio-cognitif et aborde son usage en science sous la perspective du changement conceptuel. Ce cadre comporte des implications en termes de choix de design pour la conception d'EIAH en enseignement des sciences. Nous avons développé des recommandations sur 4 niveaux de conception partant de l'identification des difficultés épistémiques du sujet d'étude jusqu'au traitement cognitif de l'interface. Ces principes basés sur des postulats de recherche offrent des lignes de conduites pour le concepteur d'EIAH devant nécessairement être arbitrées en fonction des contraintes techniques, contextuelles, institutionnelles qu'un projet d'ingénierie comporte.

La mise en œuvre de notre cadre d'analyse au sein d'un premier prototype de réalité augmentée spatiale sur les phénomènes de champs nous conforte dans sa portée pratique et les observations préliminaires nous enjoignent à étendre son développement. Des études expérimentales en cours de réalisation nous permettront prochainement de tirer des conclusions plus approfondies sur l'efficacité pédagogique de cette approche.

Références

1. Tchounikine, P., Tricot, A.: Environnements informatiques et apprentissages humains. In: Catherine Garbay, D.K. (ed.) Informatique et sciences cognitives : Influences ou

- confluence ? pp. 153–186 (2011).
2. Tchounikine, P.: Quelques éléments sur la conception et l'ingénierie des EIAH. In: 2ème assises nationales du GdR I3-Groupe de Recherche Information Interaction Intelligence. pp. 1–13 (2002).
3. Dresch, A., Lacerda, D.P., Antunes, J.A.V.: Design science research: A method for science and technology advancement. (2015).
4. Bagheri-Crosson, R., Venturini, P., Lefevre, R.: Le concept de champ magnétique et les phénomènes associés chez des étudiants du premier cycle à l'université. *Dossiers des Sci. l'éducation*. (2002) 23–32.
5. Chabay, R., Sherwood, B.: Restructuring the introductory electricity and magnetism course. *Am. J. Phys.* Vol.74. (2006) 329–336.
6. Finkelstein, N.: Learning Physics in Context: A study of student learning about electricity and magnetism. *Int. J. Sci. Educ.* Vol.27. Routledge (2005) 1187–1209.
7. Planinic, M.: Assessment of difficulties of some conceptual areas from electricity and magnetism using the Conceptual Survey of Electricity and Magnetism. *Am. J. Phys.* Vol.74. American Association of Physics Teachers (2006) 1143–1148.
8. Cheng, K.-H., Tsai, C.-C.: Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. *J. Sci. Educ. Technol.* Vol.22. (2012) 449–462.
9. Milgram, P., Kishino, F.: Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Inf. Syst.* Vol.E77–D. (1994) 1321–1329.
10. Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., Kinshuk: Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educ. Technol. Soc.* Vol.17. (2014) 133–149.
11. Radu, I.: Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Pers. Ubiquitous Comput.* Vol.18. (2014) 1533–1543.
12. Akçayır, M., Akçayır, G.: Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educ. Res. Rev.* Vol.20. Elsevier (2017) 1–11.
13. Sirakaya, M., Cakmak, E.K.: The Effect of Augmented Reality Use on Achievement, Misconception and Course Engagement. *Contemp. Educ. Technol.* Vol.9. Contemporary Educational Technology. Faculty of Communication Sciences (2018) 297–314.
14. Yen, J.-C., Tsai, C.-H., Wu, M.: Augmented Reality in the Higher Education: Students' Science Concept Learning and Academic Achievement in Astronomy. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* Vol.103. Elsevier (2013) 165–173.
15. Shelton, B.E., Stevens, R.R.: Using coordination classes to interpret conceptual change in astronomical thinking. *International Society of the Learning Sciences* (2004) 634–642.
16. Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S., Woolard, A.: "Making it real": exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Real.* Vol.10. Springer-Verlag (2006) 163–174.
17. Fleck, S., Hachet, M., Bastien, J.M.C.: Marker-based augmented reality. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '15*. pp. 21–28. , New York, New York, USA (2015).
18. Billingham, M., Dünser, A.: Augmented reality in the classroom. *Computer (Long Beach, Calif.)* Vol.45. (2012) 56–63.
19. Vosniadou, S.: *International handbook of research on conceptual change*. , New York (2013).
20. Carey, S.: Science Education as Conceptual Change. *J. Appl. Dev. Psychol.* Vol.21. (2000) 13–19.
21. Mareschal, D.: The neuroscience of conceptual learning in science and mathematics. *Curr. Opin. Behav. Sci.* Vol.10. (2016) 114–118.

22. Foisy, B.: Les conceptions erronées des élèves en électricité ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau. (2012) 15–17.
23. Linn, M.C., Clark, D.B.: The knowledge integration perspective - connections across research and education. In: International handbook of research on conceptual change. pp. 520–538. , New York (2013).
24. Linn, M.C., Eylon, B.-S.: Science learning and instruction: taking advantage of technology to promote knowledge integration. (2011).
25. Schnotz, W., Kürschner, C.: External and internal representations in the acquisition and use of knowledge: visualization effects on mental model construction. *Instr. Sci.* Vol.36. (2008) 175–190.
26. Gilbert, J.K.: Visualization: Theory and Practice in Science Education. *Vis. Sci. Educ.* Vol.3. (2008) 9–27.
27. Dori, Y.J., Belcher, J.: Learning Electromagnetism with Visualizations and Active Learning. In: Visualization in Science Education. pp. 187–216. , Dordrecht (2005).
28. Suwa, M., Tversky, B.: External Representations Contribute to the Dynamic Construction of Ideas. In: International Conference on Theory and Application. pp. 149–160 (2002).
29. Duval, R.: A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics, (2006).
30. Scheid, J., Müller, A., Hettmannsperger, R., Schnotz, W.: Scientific Experiments, Multiple Representations, and Their Coherence: A Task-Based Elaboration Strategy for Ray Optics. Palgrave Macmillan UK (2015) 239–252.
31. Seufert, T.: Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learn. Instr.* Vol.13. (2003) 227–237.
32. Mayer, R.E.: The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. (2014).
33. Ainsworth, S.: DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learn. Instr.* Vol.16. (2006) 183–198.
34. Laviolle, J., Hachet, M.: PapART: Interactive 3D graphics and multi-touch augmented paper for artistic creation. In: 2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). pp. 3–6 (2012).
35. Raduta, C.: General students' misconceptions related to Electricity and Magnetism. (2005).
36. Saarelainen, M., Laaksonen, A., Hirvonen, P.E.: Students' initial knowledge of electric and magnetic fields—more profound explanations and reasoning models for undesired conceptions. *Eur. J. Phys.* Vol.28. IOP Publishing (2007) 51–60.
37. Maloney, D.P., O'Kuma, T.L., Hieggelke, C.J., Van Heuvelen, A.: Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Am. J. Phys.* Vol.69. (2001) S12.
38. de Jong, T., Linn, M.C., Zacharia, Z.C.: Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science.* Vol.340. American Association for the Advancement of Science (2013) 305–8.