

Sticef

*Sciences et technologies de l'information et de la communication
pour l'éducation et la formation*

Volume 28, numéro 1, 2021



Sticef

Volume 28
numéro 1, 2021

© ATIEF, 2021

ISBN 978-2-901384-05-2

DOI: 10.23709/sticef.28.1 en ligne sur www.sticef.org

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des paragraphes 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « *copies et reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective* » et, d'autre part, sous réserve de mention du nom de l'auteur et de la source, que « *les analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information* », « *toute représentation ou reproduction totale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite* » (article L. 122-4). Une telle représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.



Sommaire

Élise LAVOUÉ • Éditorial 7

Articles de recherche

Mariam HASPEKIAN, Jean-Michel GELIS • Informatique, Scratch et robots : de nouvelles pratiques enseignantes en mathématiques ? 13

Géraldine BOIVIN-DELPY, Pierre JOUBERT • Didactique de la physique et conception d'un simulateur pour l'enseignement de l'astronomie au cycle 3 51

Pierre LAFORCADE, Youness LAGHOUAOUTA • Une approche dirigée par les modèles pour la conception de générateurs de scénarios adaptés dans un jeu d'apprentissage 81

Stéphanie BOÉCHAT-HEER, Esther GONZÁLEZ-MARTÍNEZ • Les difficultés et les stratégies d'ajustement des enseignants face à l'innovation technologique : trois études de cas 117

Nadine MANDRAN, Maelle PLANCHE, Patricia MARZIN-JANVIER, Mathieu VERMEULEN, Aous KAROUI, Cédric d'HAM, Isabelle GIRAULT, Claire WAJEMAN, Christian HOFFMANN • Comment construire un processus d'évaluation en EIAH fondé sur le *Design-Based Research* ? 139

Comités 169



Éditorial

Volume 28

► **Élise LAVOUÉ** (Rédactrice en chef de STICEF)

Cet éditorial aborde une nouvelle fois la question de la crise sanitaire que les enseignants ont traversée, afin de souligner l'importance de l'aspect humain de notre domaine de recherche (le « H » des EIAH). Tout au long de ces deux années, ils ont été amenés à prendre en main, pour parfois les adopter, certaines solutions de visioconférence, de partage de fichiers, des environnements virtuels et autres outils numériques. Ont été mises à l'épreuve non seulement les capacités de ces outils, mais et surtout la capacité des enseignants à se les approprier pour un enseignement à distance ou hybride, leur imposant parfois de jongler entre des élèves en classe, et d'autres à la maison. En tant que chercheurs, nous avons pu observer une fois de plus le rôle essentiel de l'enseignant, du formateur, le besoin essentiel pour les apprenants d'échanger, de partager, de discuter, d'accompagner ou être accompagnés.

Reste aujourd'hui un ensemble de questions, que nous, chercheurs, devons adresser. Quel(s) rôle(s) du numérique après la crise sanitaire ? De nouvelles pratiques enseignantes ont-elles émergé ? Les apprenants ont-ils de nouveaux besoins et attentes ? Et plus que jamais les questions du *feedback* aux apprenants, du soutien à leur motivation et à leur engagement dans l'activité d'apprentissage, et celles des outils de suivi pour l'enseignant, lui donnant les clefs d'interventions individualisées auprès des apprenants en difficulté, aux moments où le besoin se fait sentir. Cette crise a également exacerbé de nombreuses inégalités dans le domaine de l'éducation : inégalités d'accès au savoir, inégalités d'accès aux environnements numériques, inégalités de formation et d'équipement des enseignants, etc. Nous devons réfléchir à la manière dont la conception d'EIAH peut répondre aux enjeux sociétaux actuels, tout en évitant que les technologies proposées n'aient pour conséquence de reproduire ou d'accentuer les inégalités scolaires existantes.

Élise Lavoué

Rédactrice en chef de la revue *Sticef* depuis janvier 2021, j'ai le plaisir d'introduire de nombreuses contributions qui abordent l'ensemble de ces aspects, aboutissant à un nouveau volume extrêmement riche. Celui-ci est composé de 3 numéros, qui illustrent à la fois le dynamisme et la pluridisciplinarité de notre domaine de recherche. Le premier numéro est un numéro *varia* qui regroupe 5 articles de recherche acceptés au fil de l'eau, je les introduis ci-après. Le numéro 2, coordonné par Gaëlle Molinari, Élise Lavoué et Fabien Fenouillet, est dédié aux technologies positives pour l'apprentissage, domaine émergent dans la recherche francophone. Il comporte 5 articles de recherche, retenus parmi les 8 contributions soumises selon le processus éditorial de la revue. Le numéro 3, coordonné par Laetitia Bouc'h, Julien Broisin, Yvan Peter et Yann Secq, est dédié aux technologies pour l'apprentissage de l'Informatique de la maternelle à l'université. Sur les 13 articles soumis, 8 ont été retenus selon ce même processus, accompagnés d'une rubrique. Nous renvoyons aux éditoriaux des numéros spéciaux pour une présentation générale des articles qu'ils rassemblent. Nous tenons à remercier très sincèrement les éditeurs de ces numéros spéciaux, le comité de rédaction, le comité de lecture, ainsi que tous les relecteurs extérieurs pour la précieuse expertise qu'ils ont apportée. Nous tenons également à remercier les auteurs qui ont effectué les changements demandés et ont répondu aux commentaires, parfois nombreux, des relecteurs et éditeurs. Leurs efforts ont été récompensés par la publication de leur article.

Volume 28, numéro 1

Dans le premier article du numéro *Varia*, M. Haspekian et J.-M. Gelis analysent qualitativement les pratiques de cinq professeurs des écoles qui intègrent pour la première fois des technologies liées à l'enseignement de l'informatique (le logiciel Scratch et des robots pédagogiques). Cette étude exploratoire emprunte une double approche didactique et ergonomique pour analyser les genèses instrumentales professionnelles des enseignants, en distinguant, d'une part, les schèmes issus de schèmes anciens, et, d'autre part, ceux, nouveaux, qui émergent en situation. Ils montrent ainsi deux leviers pour des pratiques nouvelles : les mécanismes d'ajustements et d'adaptations d'anciens schèmes, pour des situations différentes, mais en continuité avec celles connues, et la prise de repères cognitifs et médiatifs sur des éléments pertinents de la situation.

Dans leur article, G. Boivin-Delpieu et P. Joubert présentent la conception d'un environnement informatique pour faciliter l'enseignement et l'apprentissage de l'astronomie au cycle 3, en s'appuyant à la fois sur des hypothèses théoriques et sur une analyse des processus cognitifs des apprenants. La conception repose sur la méthode du *Design-Based-Research* pour concevoir cet environnement informatique en collaboration avec des enseignants de cycle 3, des partenaires de la DANE et une entreprise experte en innovation numérique et en ingénierie digitale 3D. L'EIAH ainsi conçu vise à proposer aux élèves des activités autour de situations problématiques, à permettre l'émergence et la prise en compte de leurs représentations, tout en privilégiant les activités de modélisation et la variété des tâches épistémiques implémentées.

Dans le troisième article, P. Laforcade et Y. Laghouaouta proposent, au travers du projet *Escape it!*, une approche dirigée par les modèles pour faciliter la conception de générateurs de scénarios adaptés dans un jeu d'apprentissage. Cette approche de conception permet la génération dynamique de scénarios de jeu adaptés aux compétences de l'apprenant et aux connaissances sur la composition des niveaux de jeu. Elle permet en effet de guider l'identification des éléments en jeu dans la génération visée et de les spécifier sans ambiguïté. Ces spécifications peuvent alors être exploitées afin de vérifier, grâce au générateur implémenté, que les scénarios produits sont pertinents et cohérents avec les règles de génération identifiées.

L'article de S. Boéchat-Heer et E. González-Martínez présente une synthèse des résultats de trois études empiriques sur l'intégration d'un nouvel outil en classe et les changements dans les pratiques enseignantes de niveau primaire ou secondaire en Suisse. À partir du cadre conceptuel de l'innovation technologique et pédagogique, et sur la base d'entretiens, les auteures relèvent les avantages perçus par les enseignants interrogés, concernant leurs relations avec les élèves, ou encore les changements de la configuration de la classe. Elles identifient également des difficultés dues à l'équipement et aux infrastructures à disposition, aux compétences nécessaires à l'utilisation des TIC, au soutien institutionnel pour le faire, et à une gestion de classe parfois rendue difficile. Elles montrent que les enseignants font preuve de nombreuses stratégies d'ajustement et mobilisent des ressources variées afin d'assurer des enseignements innovants, dans l'intérêt des élèves, malgré ces difficultés, d'autant plus en contexte de crise sanitaire.

Enfin, dans le 5^e article N.Mandran *et al.* proposent un modèle de méthode incluant les sept propriétés du *Design-Based Research* (DBR), pour construire un processus d'évaluation d'une plateforme numérique pour l'enseignement en contexte réel. Cette méthode répond ainsi à une problématique rencontrée dans de nombreux projets de recherche en EIAH financés par une institution, requérant un processus d'évaluation longitudinale (PEL). Cette approche, qui se veut adaptable à différents contextes, vise à répondre aux attentes des enseignants-utilisateurs, à fournir des données pour la recherche, à faire évoluer techniquement la plateforme et obtenir des retours sur son utilisation. Les auteurs illustrent son application au projet LabNbook, concernant 157 enseignants et plus de 4500 étudiants, et concluent par un ensemble de questionnements plus larges sur les propriétés du DBR.

Du nouveau pour la revue

Nous tenons tout d'abord à remercier très sincèrement Jean-Luc Rinaudo, Professeur des Universités en sciences de l'éducation à l'Université de Rouen Normandie, pour les nombreuses années passées à œuvrer pour la qualité de la revue au sein du comité de rédaction, dont il a décidé de se retirer. Nous lui souhaitons le meilleur pour la suite, dans ses nombreuses autres responsabilités.

Deux nouveaux membres ont rejoint le comité de rédaction en 2021. Michel Desmarais, Professeur titulaire au département de Génie informatique et logiciel de l'École Polytechnique de Montréal, œuvre dans les domaines des environnements d'apprentissage, des interactions humain-ordinateur et de l'intelligence artificielle. Béatrice Drot-Delange est Professeure des Universités en sciences de l'éducation, directrice du laboratoire ACTé à l'Université Clermont Auvergne. Ses thématiques de recherche portent sur la culture numérique, la didactique de l'informatique, les ressources éducatives et l'enseignement. Nous leur souhaitons la bienvenue, ils se sont déjà pleinement intégrés au sein du comité.

L'année 2021 a été consacrée en grande partie à la migration du système de gestion de la revue vers une nouvelle version. Après plusieurs problèmes techniques, qui ont parfois ralenti la gestion des soumissions, nous avons aujourd'hui une interface plus ergonomique pour les auteurs, les évaluateurs et les éditeurs. De nombreux autres chantiers sont en cours : la refonte du site web de la revue, la gestion du processus éditorial via la plateforme de gestion des soumissions, la proposition de nouvelles feuilles de style. Tout cela grâce aux membres du comité de rédaction pleinement investis dans leurs rôles et sans lesquels la revue ne pourrait exister.

Enfin, nous terminerons par de très chaleureux remerciements à Sébastien George pour la responsabilité de rédacteur en chef qu'il a assumée avec un plein investissement durant six années. Dans la continuité d'Éric Bruillard, il a su maintenir la notoriété de la revue et nous lui en sommes très reconnaissants. Nous poursuivrons dans cette lignée, afin que la revue *Sticef* continue à faire rayonner les travaux de la communauté de recherche francophone en EIAH.



Informatique, Scratch et robots : de nouvelles pratiques enseignantes en mathématiques ?

► **Mariam HASPEKIAN** (Laboratoire EDA, Université de Paris),
Jean-Michel GELIS (Laboratoire EMA, CY Université de Cergy-
Pontoise)

■ **RÉSUMÉ** • Les programmes de mathématiques incluent algorithmique et informatique désormais dès le primaire. Comprendre l'évolution des pratiques enseignantes est alors un enjeu pour la recherche et la formation. L'article analyse les pratiques de cinq enseignants qui intègrent pour la première fois Scratch ou des robots. Nos cadres en didactique des mathématiques utilisent des approches instrumentale et ergonomique (schèmes, genèse et distance instrumentales) et de la didactique professionnelle (recours à des pratiques connues pour en bâtir de nouvelles). Deux phénomènes sont montrés : une réduction de la distance permettant ce recours aux anciennes pratiques et une prise de repères didactiques. Distance et repères semblent ainsi un outil intéressant pour comprendre l'activité en situation nouvelle.

■ **MOTS-CLÉS** • pratiques enseignantes, informatique, genèses instrumentales, schèmes, Scratch, robots.

■ **ABSTRACT** • *Understanding the emergence of teaching practices is a challenge for research and training. We explore here the practices of five teachers first-time using programming language or robots. Using instrumental and ergonomic frames (schemes, instrumental geneses and distance) and professional didactics (new activity draws on old known practices), our results concern a reduction of distance to old practices and the existence of new didactic reference points.*

■ **KEYWORDS** • *teachers' practices, computer science, instrumental geneses, schemes, Scratch, robots.*

1. Introduction

En France, informatique, algorithmique, codage, programmation, robotique sont entrés en force dans les nouveaux programmes scolaires de mathématiques depuis la rentrée 2016, avec une initiation dès la maternelle. Des objectifs nouveaux à ces âges sont visés dès le cycle 2 telle l'initiation à la notion d'«algorithme» et, plus largement, à la programmation, liés parfois à des apprentissages classiques comme le développement de compétences de repérage, de déplacement et de représentation dans l'espace (MEN, 2015). Cette volonté d'affirmer l'informatique dans les programmes s'est récemment concrétisée (janvier 2019) par la création et la montée en puissance d'un CAPES d'informatique dont les lauréats assureront l'enseignement de spécialité « Numérique et sciences informatiques » au lycée. Malgré cette avancée, l'informatique n'est pas encore identifiée partout comme discipline à part entière. Au collège, son enseignement reste confié aux professeurs de mathématiques et de technologie. Dans le primaire, ce champ disciplinaire est dispensé dans le cadre de l'enseignement des mathématiques et des sciences et techniques.

Dans cet article, nous nous intéressons aux pratiques de ces enseignants, qui enseignent l'informatique sans en être spécialistes, et à leurs nécessaires évolutions pour s'approprier tant cette nouvelle discipline que les technologies afférentes. Quels éléments et mécanismes sont cruciaux dans cette évolution? Cette question interpelle tant la recherche que la formation. Du point de vue de la recherche: comment une activité enseignante nouvelle se déploie-t-elle? Quels en sont les points d'appui? Quels en sont les freins? Du point de vue de la formation, les réponses peuvent amener des pierres à l'édifice qu'il reste à construire en matière d'accompagnement et de ressources pour l'enseignant: organisation d'une progression en informatique, articulation avec les autres apprentissages visés, exploitation des outils dédiés, connaissance des points d'achoppement (difficultés, résistances) des enseignants et, à l'inverse, points d'appui des pratiques réussies.

2. Contexte du travail et outils théoriques

Nous abordons ici ces questions de manière exploratoire, en nous appuyant sur cinq cas d'étude. Nous analysons qualitativement les pratiques de professeurs des écoles utilisant pour la première fois, des technologies liées à ces nouveaux programmes (le logiciel Scratch et des robots pédagogiques décrits dans la suite) et qui sont sans formation face à

cette mission, comme la plupart des enseignants du primaire et du secondaire. Les outils théoriques, exposés ci-dessous, permettent nos analyses de l'utilisation de Scratch (section 3) et celle des robots (section 4). La dernière section (section 5) discute des résultats obtenus, qui montrent des convergences dans les utilisations pédagogiques et didactiques observées quant aux fonctionnalités de ces outils et aux connaissances qu'ils embarquent, lesquelles, comme nous le verrons, sont loin d'être identifiées comme mathématiques ou informatiques par les enseignants.

2.1. Outils théoriques pour analyser les pratiques

2.1.1. La double approche didactique et ergonomique

Interroger les pratiques enseignantes, chercher à décrire et comprendre les changements et évolutions liés à l'intégration de nouveaux outils et à celle d'une nouvelle discipline comme l'informatique peut se faire sous un angle didactique avec le cadre de la « double approche didactique et ergonomique » (Robert et Rogalski, 2002). Les pratiques naissantes que nous cherchons à décrire peuvent ainsi s'analyser sur les dimensions cognitives et médiatives de l'activité enseignante. Les choix de l'enseignant dans ces dimensions se font, entre autres, en fonction de sa « composante » personnelle : les connaissances propres qu'a l'enseignant lui-même dans ces dimensions cognitives et médiatives vont orienter son activité, combinées aux dimensions sociales et institutionnelles. Si l'introduction de l'informatique est une situation *a priori* complètement nouvelle pour l'enseignant, quelle activité peut-il mettre en place s'il n'a que peu de connaissances personnelles sur ces dimensions cognitives (liées à l'apprentissage de l'informatique) et médiatives (liées à l'organisation de cet apprentissage médié par de nouveaux outils technologiques) ? Ce cadre nous permet donc de poser la question des nouvelles pratiques, de leurs possibilités et de leurs freins, en termes d'analyse et de compréhension des choix de l'enseignant effectués aux niveaux cognitifs et médiatifs : comment les choix vont-ils s'opérer ? Pourquoi ces choix ? Qu'est-ce qui les favorise ou les freine ?

2.1.2. La didactique professionnelle et les schèmes

La « double approche » réfère à la didactique professionnelle (Pastré, 1997) pour analyser les pratiques enseignantes (Rogalski, 2004 ; Pastré, 2007). Ce courant s'appuie sur une théorie de l'activité développée en psychologie ergonomique française (Leplat, 1997) dans une lignée vygotkienne (Rogalski, 2004). Selon le degré d'analyse souhaité, ou

possible, il peut donc être intéressant de prolonger l'étude à un angle plus cognitif en recourant à l'analyse de l'activité jusqu'aux schèmes (Vergnaud, 1990) impliqués dans ces pratiques. La question des évolutions de pratiques liées à l'informatique se traduit ici en termes de développement de schèmes nouveaux, observés à leur stade d'émergence le plus précoce. En effet, au regard de travaux qui décrivent des schèmes déjà installés - voir par exemple Goigoux (2007) en didactique du français, nous observons, et c'est l'originalité du travail ici en didactique disciplinaire, des pratiques « naissantes » : nous recherchons des mécanismes opérés lors de séances innovantes, mécanismes qui sont les prémisses à l'installation de schèmes ultérieurs et de pratiques stabilisées.

Comment se forment ces schèmes ? Si Vergnaud donne lui aussi de nombreux exemples de schèmes (notamment de schèmes d'élèves en situation d'apprentissage des mathématiques), ses écrits n'évoquent que peu les processus précoces par lesquels se forment ces schèmes, si ce n'est en parlant d'« ajustement » d'anciens schèmes ou de « contingence » de l'activité face à des situations nouvelles. C'est d'ailleurs toute la puissance de la notion de « schème » qui permet de rendre compte du caractère double de l'activité, à la fois systématique et contingente : « *Cette contingence de l'activité, est encore plus éclatante pour les situations nouvelles, lorsque le sujet ne dispose pas de schème tout prêt dans son répertoire, et doit improviser les moyens de faire face. La contingence tourne alors à l'opportunisme, et le sujet fait feu de tout bois puisant dans ses ressources cognitives, c'est-à-dire dans les schèmes antérieurement formés susceptibles d'ouvrir une voie à la recherche de la solution.* » (Vergnaud, 2007a, p. 20).

Des schèmes se combinent aussi pour en former de plus gros constitués de sous-schémas avec lesquels ils entretiennent des liens. Vergnaud parle de répertoire de schèmes. C'est dans son répertoire que le sujet puise une solution. Mais que se passe-t-il face à un problème « trop » nouveau ? Et comment apprécier ce « trop » ? Nous y reviendrons. Dans le cas d'un problème à résoudre qui serait totalement nouveau pour un sujet, Vergnaud change de vocable et parle de démarches : ce sont des « *démarches susceptibles d'être engagées par les sujets* » et qui ont « *vocation à devenir un schème* » (Vergnaud, 2011, p. 42). Certaines de ces démarches débutantes vont alors être abandonnées, d'autres vont se stabiliser, voire se renforcer au point d'en chasser d'autres. Les invariants opératoires des schèmes qui se constituent là proviennent ainsi soit d'anciens schèmes déjà installés, soit se créent en situation : « *Dans*

L'adaptation aux situations nouvelles (et donc à la résolution de problème), une fonction essentielle est assurée par les invariants opératoires : soit qu'ils existent déjà dans les ressources du sujet, et qu'ils soient décombinés et recombinaés, soit qu'ils n'existent pas encore, qu'ils émergent en situation, et viennent s'articuler avec les invariants antérieurement formés.» (Vergnaud, 2007a, p. 20).

Cette émergence intéresse particulièrement notre étude. Comment se produit-elle ? À partir de quoi ? En effet, notre étude ne se situe pas encore au niveau de schèmes, même « petits » (Pastré, 2007), mais en amont. Nous observons de toutes nouvelles pratiques qui s'élaborent, des actions et règles de conduite en germe seulement, ou, comme le dit Pastré, en parlant lui de « gestes », des « *gestes professionnels élémentaires [qui] vont être intégrés dans des organisations plus macro* » (Pastré, 2007, p. 86). Mais la même question se pose en termes de gestes : comment, à partir d'anciens, mais aussi de nouveaux éléments, ces gestes se mettent-ils en place ?

Dans le déroulement de l'activité, Vergnaud souligne l'importance des règles de conduite et des invariants opératoires : « *Règles d'action, de prise d'information et de contrôle. C'est cette composante qui constitue la partie proprement générative du schème.* » (Vergnaud, 2007a, p. 18). Mais là encore, si l'on comprend bien que de nouvelles règles de conduite peuvent découler d'adaptation, ajustement d'anciennes règles, rien n'est véritablement dit sur le versant émergence de nouvelles règles (ni de nouvelles possibilités d'inférences ou de nouveaux invariants opératoires) en présence d'une situation trop nouvelle. Dans le couple schème-situation, on peut en effet distinguer le cas de situations nouvelles, mais suffisamment proches de celles déjà vécues, du cas de situations nouvelles plus éloignées, voire en rupture avec celles déjà vécues. On trouve ici une notion de « distance au vécu », sur laquelle nous reviendrons par la suite. Comme le souligne Vergnaud, « *le développement se manifeste à la fois par des continuités et des ruptures : les connaissances nouvelles se construisent à la fois en s'appuyant sur les connaissances antérieures, et en s'opposant parfois à elles* » (Vergnaud, 2013, p. 13). Le cas de l'introduction dans l'enseignement primaire de l'informatique et de l'algorithmique, introductions accompagnées tout à la fois de celles de nouveaux logiciels tels que Scratch ou des robots, nous semble placer l'enseignant « ordinaire » dans ce second cas, celui d'une nouvelle situation extrêmement distante des habitudes en cours. L'activité que nous observons alors se situe à des stades si précoces du développement de nouveaux schèmes qu'il serait trop avancé d'attribuer un statut de « règle » aux conduites observées à ce stade,

qu'elles soient d'action, de prise d'information ou de contrôle. Nous situer à ce stade nous mène alors à trois résultats. Le premier ne fait que retrouver, dans ce cas très précis de pratiques naissantes, les résultats cités ci-dessus dans les cas plus généraux d'analyse du travail issus de ce courant théorique (Pastré, 2007) : l'activité nouvelle se produit en recourant à d'anciennes pratiques connues. Le deuxième résultat montre que les conditions de ce recours ne sont pas le fruit du hasard, mais sont telles qu'elles réduisent la distance aux pratiques anciennes générée par la situation nouvelle. Enfin, l'originalité de notre travail est d'observer un autre mécanisme en jeu : l'activité nouvelle se produit aussi à partir de prise de repères didactiques nouveaux. Nous distinguons l'idée de « prise de repère » de celle plus large de « prise d'information ». Dans une situation connue, mettant en œuvre un schème stabilisé, le sujet mène son activité en prenant en permanence de l'information sur cette situation, cette prise d'information étant elle-même organisée par des règles. En effet, selon Vergnaud, les règles de conduite, dont celles de prise d'information, sont des adaptations locales à la situation en cours que le sujet infère (grâce à des possibilités d'inférences, partie constituante des schèmes) de ses invariants opératoires (théorèmes en acte et concepts en acte). Pour Vergnaud, la prise d'information (autre partie constituante des schèmes) gagnerait à être davantage étudiée : « *Il est étrange que la prise d'information ait été si mal théorisée, alors que c'est un des points essentiels des activités complexes.* » (Vergnaud, 2007b, p. 292). Dans le cas d'une situation non connue et trop nouvelle, on peut raisonnablement affirmer que, de manière analogue, le sujet mène son activité en prenant de l'information sur la situation. Avant même qu'un invariant opératoire, ou même une règle d'action ne soient formés ou qu'une règle de prise d'information ne soit engendrée et adaptée à la situation, il y a tout de même prise d'information, possiblement tous azimuts, « opportuniste » ou en « faisant feu de tout bois » comme le disait Vergnaud plus haut. Dans ce processus, certaines des informations prises vont être oubliées, d'autres vont jouer un rôle important : celui de permettre au sujet de développer de nouveaux invariants opératoires, de nouvelles règles de conduite (y compris des règles de prise d'information adaptées à la nouvelle situation). Ces informations jouent donc un rôle particulier de guidage. Elles fournissent des repères, sur les dimensions cognitives et médiatives (repères qui sont donc didactiques), sur lesquels une organisation ultérieure de l'activité va pouvoir s'ancrer, pour dépasser le stade de démarche et arriver à celui de schème. Par exemple, l'enseignant va découvrir une erreur récurrente des élèves dans leur utilisation de Scratch. Une fois cette information retenue, elle devient un repère

didactique pour son action ultérieure: il l'utilise à présent dans ses interactions avec les élèves. Sa façon d'utiliser ce repère, ou de le conceptualiser, est un bon candidat à la génération d'un nouveau schème qui sera appliqué dans les situations analogues d'utilisation de Scratch par les élèves. Ce repère peut contribuer par exemple au développement de nouvelles règles d'action ou de prise d'information, de contrôle, mais aussi au développement de nouveaux concepts en acte et théorèmes en acte liés à l'utilisation didactique de Scratch. Nous nous intéressons ainsi à cette fonction de guidage, souhaitant mettre en évidence ces moments de prise de conscience de connaissances nouvelles qui agissent comme des repères pour l'activité didactique de l'enseignant.

2.1.3. L'approche instrumentale

Cette activité et les connaissances que nous cherchons à examiner ici ont toutefois une particularité forte: elles se déroulent avec des technologies. Ce contexte instrumenté nous pousse à particulariser ces notions de schèmes et d'activité au cas instrumenté et à utiliser pour cela le cadre de « l'approche instrumentale » en didactique des mathématiques (Artigue, 2002; Guin et Trouche, 2002; Lagrange, 2000). Ce cadre, en s'appuyant sur les concepts de la psychologie ergonomique permet de retrouver ces notions d'« activité » et de « schème », mais en contexte instrumenté. Il se fonde, tout en les élargissant au contexte scolaire, sur les travaux notamment de Rabardel (Rabardel, 1995) qui soulignent l'importance de la genèse instrumentale, processus au cours duquel un sujet s'approprie un artefact donné *via* l'élaboration de schèmes, le transformant ainsi en un instrument. Ce concept est donc bien adapté à l'étude de pratiques naissantes qui se traduisent en termes de genèses de schèmes (qui se constituent dans ces pratiques), alors même que l'activité n'est pas encore organisée de manière invariante dans ces situations nouvelles, ce que pouvait difficilement traduire l'idée directe de « schème ». Issues de ce cadre, deux idées décrites ci-après complètent l'outillage théorique qui a servi à nos analyses: celle de distance aux pratiques qui prolonge l'idée de « distance instrumentale » (Haspekian, 2017) et va permettre de caractériser la nouveauté des situations, et la distinction instrument personnel/instrument professionnel de l'enseignant (Haspekian, 2011) qui découle de l'idée de « genèse instrumentale » dans le cas du sujet enseignant. Nous les décrivons ci-après.

Dans les situations d'enseignement nouvellement instrumentées, l'idée de « distance instrumentale » reprend celle de « non-neutralité » des outils

sur les conceptualisations usuelles dans le but de mettre des mots sur cet écart entre les situations habituelles et celles impactées par l'outil. Par exemple, une trop grande distance instrumentale comme celle embarquée par le tableur, préconisé par les programmes pour l'enseignement des mathématiques, provoque des résistances chez les enseignants, l'outil se retrouvant alors faiblement intégré dans les pratiques (Haspekian, 2005). Les difficultés d'intégration sont alors rapportées aux difficultés liées à la gestion didactique des artefacts, que Trouche (2005) nomme « orchestrations ». Cette gestion suppose en effet la connaissance des potentialités et contraintes des artefacts pour piloter l'instrumentation des élèves, définir des objectifs d'apprentissages (disciplinaires et instrumentaux) associés à ces genèses, concevoir des situations et scénarios les mettant en œuvre. Certains éléments intrinsèquement liés à l'artefact contribuent à créer ou contrer la distance : la transposition informatique (Balacheff, 1994), les éventuels écarts à l'environnement d'apprentissage usuel dans le vocabulaire, dans les techniques et dans les objets mis en avant par les deux environnements ; Drijvers parle aussi de « congruence » (2003). De même, certains éléments, cette fois liés à la composante personnelle de l'enseignant, accroissent ou au contraire réduisent la distance (Haspekian, 2017), ce sont les diverses légitimités attribuées à l'outil par l'enseignant, déclinées à nouveau grâce au cadre de la « double approche » : légitimité institutionnelle (comme les instructions, injonctions officielles), légitimité sociale (comme la place de la nouveauté à intégrer dans la société), légitimité didactique, c'est-à-dire cognitive et médiative (comme les activités possibles avec cet artefact, leur bénéfice didactique et la valeur perçue par l'enseignant du changement qu'apporte cet outil), mais aussi légitimité épistémologique (représentations qu'à l'enseignant du rôle de l'outil dans le développement des connaissances visées, des nouveaux développements possibles qu'il génère). Ainsi, conjuguer l'instrumentation et les apprentissages visés (usuellement en référence au « papier-crayon ») peut s'avérer difficile et susciter des résistances.

Prolongeant cette étude de l'intégration du tableur, l'idée de « double genèse instrumentale » (Haspekian, 2011) pointe, quant à elle, la distinction d'instruments issus d'un même artefact, qui s'opère dans le cas où le sujet est un enseignant : l'instrument (issu de l'artefact tableur par exemple) se dédouble en un instrument personnel du travail mathématique (de même nature que celui des élèves) et un instrument professionnel du travail didactique. Les genèses instrumentales personnelle (GIpe) et

professionnelle (GIpro) renvoient à ces processus respectifs d'instrumentation chez l'enseignant. Ils peuvent différer dans le temps (cas des calculettes en général par exemple) ou être concomitants, comme dans le cas d'artefacts nouveaux, tels les robots ou Scratch. Ces artefacts nouveaux, dans le cadre d'un enseignement de l'algorithmique ou de l'informatique, sont amenés à devenir pour les enseignants des instruments (au sens de Rabardel) didactiques, différents de l'instrument personnel. Le qualificatif didactique signifie que l'instrument est, cette fois, au service de la profession. Ici, les enseignants ont à concevoir des modes d'utilisation professionnels permettant d'en exploiter les potentialités pour l'apprentissage de connaissances (ici informatiques, mathématiques, algorithmiques...). Ces artefacts ont en effet des potentialités pour l'enseignement de diverses notions de ces domaines qu'ils embarquent : programme, instruction, algorithme, événement, exécution, initialisation, synchronisation, boucle... Ici, une GIpro qui conduirait à un instrument didactique visant ces connaissances repose sur ou se développe en même temps qu'une GIpe par laquelle l'enseignant instrumente lui-même les fonctionnalités générales de ces artefacts, lui permettant d'en définir les potentialités et contraintes pour des visées cette fois didactiques. Haspekian (2011) étudie, chez une enseignante qui introduit le tableur en classe tout en découvrant elle-même ses fonctions, les interférences de ces deux genèses dont le développement concomitant complexifie le travail. C'est à nouveau le cas des enseignants observés ici avec les robots ou Scratch : leurs schèmes professionnels sur l'utilisation didactique de l'outil peuvent coévoluer et dépendre de leurs schèmes d'action personnels avec ces outils. Selon Trouche (2005), même s'il est impossible pour l'enseignant de « connaître dans le détail le fonctionnement des artefacts présents dans la salle de classe », une « réflexion de fond » est néanmoins nécessaire pour « concevoir les situations » ; « anticiper les difficultés des élèves », mais aussi « prévoir, relativement, les directions dans lesquelles les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation vont se déployer ». Autrement dit, une GIpe minimale est nécessaire pour soutenir l'essor d'une GIpro menant à un instrument didactique fonctionnel pour les savoirs visés. En outre, lorsque l'outil est destiné à un usage par les élèves, la GIpro enseignante intègre aussi l'organisation des GI des élèves, complexifiant le travail enseignant. Enfin, le fait que les connaissances informatiques à viser chez les élèves soient elles aussi nouvelles pour l'enseignant est une difficulté supplémentaire.

2.2. Données recueillies et méthodologie

Les données traitées ici, recueillies sur 2015-2016, proviennent du projet de recherche Dalie (Didactique et apprentissage de l'informatique à l'école), financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) sur la période 2014-2017, qui interroge la place de l'informatique à l'école primaire et la faisabilité d'un curriculum, tenant compte des contraintes institutionnelles, de l'activité enseignante et des représentations des acteurs (élèves et enseignants). Une quinzaine de chercheurs de laboratoires situés en France et en Grèce travaillent à partir d'observations d'enseignants volontaires pour intégrer robots ou langages de programmation. Dans le but de se rapprocher des conditions de pratiques ordinaires, nous avons choisi des enseignants qui ne sont pas spécialistes de l'informatique et qui ne bénéficient pas de formation particulière ni de supervision pour concevoir et mettre en œuvre leurs séances.

Nous nous intéressons ici à l'évolution des GIpe/GIpro de cinq enseignants, nommés René, Noémie, Alice, Fanny et Leila. René a utilisé avec ses élèves le logiciel de programmation Scratch, tandis que les quatre autres enseignantes ont expérimenté des robots. Nous cherchons à chaque fois à comprendre l'activité mise en place par les enseignants : quels choix cognitifs et médiatifs sont opérés, qu'observe-t-on en termes de régularités naissantes, quels repères didactiques les enseignants réussissent-ils ou non à prendre ? Nous avons alors filmé les premières séances de ces enseignants dans le cadre de ce nouveau programme et relevé certains documents professionnels (bilans, fiches de préparation). Nous avons aussi mené des entretiens individuels (en début de projet, avant et après certaines séances filmées).

À partir des différentes données, la méthodologie dans les deux cas a plus précisément consisté à mettre en lien les GIpe des enseignants et leurs GIpro : à quel stade en sont-ils de leur genèse personnelle avec ces outils ? Quelles en sont les conséquences observables en séance sur leurs GIpro ? Ces conséquences sont observées à deux niveaux : dans leur gestion des GI des élèves d'une part, dans les objectifs attribués à leurs séances d'autre part. Elle a également consisté à analyser des évolutions éventuellement observées de la GIpro. Pour cette analyse, précisons que les données choisies se situent à des échelles différentes d'évolution, induisant une granularité et donc une méthodologie d'analyse différente. Nous disposons pour René d'une « double » vidéo, filmant la même séance auprès de ses deux demi-classes successives, et captant la totalité de ses interactions avec les élèves.

Ce matériel permet une analyse locale très fine, proche de l'activité enseignante, d'une séance répétée, et sur un temps continu et court. La répétition donne à voir comment la GIpro de René entre les deux sessions évolue sur ce court temps. Pour les quatre enseignantes, nous disposons d'une multitude de vidéos courtes, filmant des acteurs différents de façon parcellaire au niveau d'une séance, mais s'étalant cette fois sur plusieurs mois ! Ce matériel permet de changer d'échelle pour offrir une vision assez complète des GIpro à l'œuvre sur l'année entière et appréhender leur cohérence à travers les évolutions des activités proposées aux élèves, les interventions et les gestions de classe.

Pour résumer, nous dégagons de la littérature de recherche deux réponses à la question de la formation de nouveaux schèmes :

- le recours à d'anciens schèmes (nous le retrouverons dans la partie avec les robots), ce qui se forme sur le long terme et justifie une méthodologie « données longues » comme c'est le cas ici ;
- l'ajout d'éléments découverts en situation (ce sont les prises des repères visibles cette fois dans la partie avec Scratch), ce qui justifie une méthodologie plus fine permettant de zoomer sur ces instants de découverte.

La suite du texte est donc structurée suivant ces deux entrées. Que ce soit dans le cas de René, avec le logiciel Scratch, ou celui des quatre enseignantes avec les robots, nous constatons une faible GIpe et décrivons son impact sur la GIpro qui manque d'une base solide pour se développer efficacement et faire de ces technologies des outils didactiques au service des apprentissages visés dans les programmes mathématiques ou informatiques. Partant de ce constat, nous nous demanderons quelle activité se déroule en situation et sur quelles autres ressources s'appuient les enseignants pour les développer. Les deux parties présentant ces cas sont structurées suivant le même plan : tout d'abord une description de l'activité observée en situation, ensuite une analyse visant à expliquer ces choix cognitifs et médiatifs. Trois résultats ressortiront de cette analyse : la mise en évidence de phénomènes de temporisation et de deux mécanismes de développement des GIpro :

- par recours à d'anciens schèmes qui vont s'adapter et devenir des éléments constitutifs de nouveaux schèmes d'une GIpro ;
- par prise de nouveaux repères conduisant à l'émergence de nouveaux schèmes de la GIpro.

3. Utiliser Scratch en cycle 3 (CM1)

3.1. Outil et données recueillies

René a choisi d'utiliser Scratch, logiciel, développé par le MIT, dont le site français des concepteurs (<http://scratchfr.free.fr>) souligne les potentialités non seulement pour l'informatique, mais également pour les mathématiques : « *Scratch est un logiciel libre conçu pour initier les élèves dès l'âge de 8 ans à des concepts fondamentaux en mathématiques et en informatique. Il repose sur une approche ludique de l'algorithmique, pour les aider à créer, à raisonner et à coopérer.* »

Comme indiqué précédemment, nous nous centrons ici sur l'observation de la deuxième utilisation de Scratch par René : les données sont constituées de deux vidéos de 1 h 30 enregistrant *a priori* la même séance, répétée sur deux créneaux consécutifs (la classe était scindée en deux demi-groupes qui se sont succédé), et d'un postentretien réalisé avec l'enseignant à chaud.

Après une première séance de découverte libre par les élèves, René se lance dans une seconde utilisation de Scratch où il a désormais prévu des tâches précises à faire réaliser. Le choix de cette séance et son dédoublement présentent trois avantages spécifiques :

- nous sommes au tout début de l'utilisation de Scratch et de la GIpro de René ; quels apprentissages cette GIpro vise-t-elle : informatiques, algorithmiques, mathématiques, autres ? ;
- une séance où les élèves sont seuls par poste permet aussi de voir la façon dont René a prévu de gérer les GI des élèves au niveau des connaissances artéfactuelles ; quelles fonctionnalités sont visées dans ce moment de découverte du logiciel, dans quel ordre et comment ? Nous verrons que René n'a pas préparé sa séance dans cette approche-là, ayant lui-même peu identifié ces fonctionnalités ;
- enfin, la répétition de la même séance sur deux moitiés de classe est une modalité extrêmement intéressante, elle permettra d'identifier, chez René, des prises de repères lors de la première séance, réinvestis dans la seconde. En quelque sorte, nous observons la GIpro se dérouler sous nos yeux.

Un des faits les plus marquants de cette séance répétée est alors une GIpro trop peu avancée (section 3.2) pour nourrir une GIpro. Ceci impactera la gestion des GI des élèves avec Scratch (section 3.3) et les objectifs d'apprentissage définis par l'enseignant (section 3.4). Un autre fait

marquant auquel la répétition de la séance nous donne accès est, comme dit plus haut, l'évolution quasi « en direct » de la GIpro de l'enseignant (en même temps que celle de sa GIpe). On voit René prendre des repères didactiques (section 3.5) avec le premier demi-groupe, pour certains immédiatement réinvestis dans la séance avec le demi-groupe suivant.

3.2. Une GIpe trop peu avancée

Au niveau instrumental, la séance prévue comporte deux consignes :

- bouger deux lutins (personnage ou objet) en même temps ;
- bouger deux lutins successivement avec une seule commande de départ (ceci vise à faire dépendre l'action du second lutin de celle du premier, par exemple en faisant communiquer les lutins par la commande « message »).

La première consigne à elle seule requiert plusieurs connaissances instrumentales, dont certaines mobilisent des connaissances mathématiques. Trois d'entre elles peuvent constituer des sources de difficultés pour les élèves à ce stade de leurs GI avec Scratch :

- prendre conscience des coordonnées pour contrôler un minimum les positions d'un lutin à l'écran ;
- prendre conscience de la nécessité de définir un point de départ pour positionner les lutins (idem pour l'orientation si celle-ci est amenée à être modifiée par le programme) ;
- prendre conscience de l'existence de « scripts de scénario » (programmes) associés à chaque personnage et à chaque scène (une page de scripts par lutin, nécessitant de changer de page en sélectionnant les divers lutins au gré des scripts sur lesquels on souhaite travailler).

La connaissance instrumentale **A** (coordonnées des objets) porte des connaissances mathématiques sur le repérage dans un plan. Bien que les notions d'abscisse et d'ordonnée ne soient pas au programme de CM1 (la définition de coordonnées dans un repère orthogonal est un objectif mathématique du cycle 4), le repérage type bataille navale sur un plan quadrillé est bien présent dans les programmes du cycle 3, dans le volet Espace et géométrie, où l'usage d'un logiciel fortement apparenté à Scratch est mentionné, précisément sous la rubrique « Se repérer et se déplacer dans l'espace ». On y précise les connaissances et compétences : « *Programmer les déplacements d'un robot ou ceux d'un personnage sur un écran* » et « *Vocabulaire permettant de définir des positions et des déplacements* ». L'exemple associé indique : « *Situations donnant lieu à des repérages dans l'espace ou à la description, au codage ou au décodage de déplacements* ».

De plus, l'annexe 5.3 du programme «Initiation à la programmation: Scratch-Premières activités» est entièrement axée sur le repérage à l'écran, dans un modèle de type grille, d'un objet sur un arrière-plan quadrillé. Dans Scratch, deux coordonnées x et y , affichées automatiquement lorsque le pointeur est sur l'espace de déplacement, indiquent les positions des lutins. La consigne de René peut donc viser cet objectif d'apprentissage mathématique. Au niveau de l'instrumentation par les élèves, la connaissance de cette fonctionnalité est cependant un minimum pour repérer et contrôler les déplacements des lutins : il faut savoir que le nombre affiché en x indique un déplacement le long d'un axe horizontal, et celui affiché en y un déplacement le long d'un axe vertical. Elle est nécessaire aussi pour donner une position de départ et ainsi contrôler le déplacement des personnages dont la position va évoluer dans le programme.

De même, la connaissance **B** (nécessité d'un positionnement de départ portant sur la position, voire sur l'orientation si celle-ci est amenée à être modifiée au cours du programme) n'est pas évidente. Après une première exécution d'un programme avec mouvement (tels « Aller à » ou « Glisser »), aucun *feedback* n'indique que le lutin doit être repositionné à son point de départ en vue d'un futur essai. Ce n'est qu'au deuxième essai que l'élève s'en aperçoit, le lutin restant cette fois fixe. Ce problème n'est pas compris par les élèves, aucun de ceux observés n'a réussi à en saisir seul l'origine. Une difficulté analogue d'initialisation se constate avec les commandes d'orientation.

Enfin, la fonctionnalité mentionnée en **C** (scripts propres aux lutins et passage du script d'un lutin à un autre) n'est pas intuitive non plus, les personnages étant généralement tous deux visibles alors qu'une seule page de scripts, celle du lutin, est affichée (cette sélection étant d'ailleurs peu visible). Ainsi, au cours de l'action, après avoir défini un nouveau lutin, il n'est pas évident de comprendre que des programmes sur une autre page lui seront associés ni que, pour y accéder, il faudra sélectionner au préalable le lutin en question.

Les déroulements effectifs des séances avec les deux groupes montrent que René n'avait prévu de travailler ni **A**, ni **B**, ni **C**, n'ayant pas lui-même pris conscience de la mise en jeu de ces connaissances, lesquelles ont bien constitué des points de difficultés pour les élèves (voir section 3.3). Cette non-anticipation de la part de René, indice d'une G1pe encore débutante, ne le met pourtant pas en difficulté dans la séance, il utilise au contraire cette caractéristique d'être lui-même en « découverte », pour montrer que

les connaissances ne sont pas science infuse, mais qu'on apprend en cherchant. C'est ainsi que le déroulement général des deux séances montre à plusieurs reprises l'enseignant exprimant lui-même une connaissance insuffisante des diverses commandes et fonctionnalités de Scratch : « *Tu vois moi aussi je découvre* » ; « *Alors... euh..., ben essayons... moi j'sais pas...* » Avec le second groupe, nous retrouvons cette position assumée de novice, bien que moins souvent, indice que le recours à cette technique de gestion des élèves dans cette situation nouvelle n'est pas nécessairement voulu, mais un moyen pour René de temporiser, le temps d'accroître sa GIpe et, par la suite, sa GIpro pour aider les élèves au niveau des fonctionnalités instrumentales de Scratch : « *Peut-être... J'sais pas... moi j'ai mis une heure...* » ; « *Quand je saurai... mais pour le moment...* »

D'autres indices d'une GIpe peu avancée sont aussi visibles lors d'interactions sur des difficultés plus précises que les élèves rencontrent eux-mêmes avec Scratch. Quelques exemples sont détaillés dans la section suivante qui révèle des connaissances faisant défaut à René pour pouvoir comprendre l'origine des problèmes, réagir sur le vif, débloquer et faire avancer les genèses instrumentales des élèves.

3.3. Conséquences sur la GI pro quant à la gestion des GI des élèves avec Scratch

En référence à notre analyse, les extraits suivants montrent que l'enseignant n'avait anticipé ni **A**, ni **B**, ni **C**. Il découvre ces connaissances avec les élèves. Les problèmes associés surgissent en effet plusieurs fois, poussant les élèves à solliciter l'enseignant. Ces problèmes liés à **A**, **B** ou **C** donnent alors lieu à trois types de conduites de la part de René : ils sont soit résolus par lui-même, soit non résolus et attribués à des fonctions qui « *ne marchent pas* », soit enfin écartés sans plus d'explications.

Par exemple, une élève qui a essayé le déclenchement par message ne comprend pas ce qui se passe quand elle lance le programme (le second personnage n'a pas de position de départ ; connaissance **B**). René ne comprend pas non plus. Il observe, puis émet une hypothèse : « *Peut-être que ta position de départ n'est pas bonne ?* » Il exécute ensuite à nouveau le programme, regarde les coordonnées, réfléchit... Après 1 min 30, il dit : « *Ah, oui !* » et fait ajouter la position de départ manquante. Plus loin, avec un autre élève : « *Tu vois, moi aussi je découvre.* » Cette situation assumée de découverte est répétée plusieurs fois : « *Essaye autre chose, moi aussi hein, j'sais pas, moi aussi je découvre un peu.* » D'autres fois, le dysfonctionnement n'est pas compris, et le problème est laissé de côté.

Avec le groupe 2, des phénomènes analogues se produisent. René ne parvient pas à aider une élève dont un seul des deux lutins bouge à la première exécution, et aucun à la seconde. S'il observait les coordonnées finales affichées à l'écran (connaissance **A**), il verrait pourtant que les commandes se sont bien exécutées. Il se trouve en difficulté, car les programmes comportent des mouvements d'orientation et de déplacement, mais les positions des lutins sont proches des bords de l'écran ce qui masque ces mouvements. D'autre part, le programme comporte aussi une commande de rebondissement, elle aussi non visible à l'exécution, car instantanée. René qui ne détecte donc pas les mouvements et déplacements conclut : « *Y a un problème [...] Attends, je vais euh... Regarde-le "Glisser", il est sympa.* » En effet, « *Glisser en une seconde à* » n'est pas une commande instantanée, elle comporte par défaut un temps d'exécution d'une seconde, et le déplacement est enfin visible !

3.4. Conséquences sur la GIpro quant à la définition des enjeux d'apprentissage avec Scratch

Comme indiqué plus haut, Scratch apparaît dans les nouveaux programmes de mathématiques avec des visées d'apprentissage sur les repérages et déplacements dans un plan. Nous observons que René décale ces visées vers d'autres objectifs : certains s'attachent à une discipline que l'on pourrait qualifier de « substitution » (le Français), d'autres sont des objectifs transversaux, non disciplinaires.

En effet, la GIpro de René, encore au stade de la découverte, fait qu'il en sait lui-même trop peu sur le fonctionnement de Scratch pour en faire un outil didactique d'apprentissage de concepts algorithmiques, mathématiques ou informatiques. René n'identifie pas ces savoirs dans Scratch. Par exemple, le vocabulaire employé est fluctuant : avec le groupe 1, le terme « coordonnées » est remplacé par « codes du personnage » avant de redevenir « coordonnées ». Avec le groupe 2, « coordonnées » est cette fois presque institutionnalisé en début de séance, mais redevient plus loin « codes de déplacement ». De même les termes géométriques « degrés », « angle », « rotation » qui avaient l'occasion d'être discutés ici ne sont jamais repris par René.

Ainsi, la GIpro a du mal à se développer dans une direction qui ferait de Scratch un outil d'enseignement des notions visées par les programmes scolaires (algorithmique, programmation, mais aussi déplacements dans un plan, repères). N'identifiant pas ces savoirs dans ce nouvel outil, René déplace l'usage effectif de Scratch sur deux autres visées : des apprentissages

plus transversaux (chercher, explorer, tester, développer les interactions entre pairs, travailler en groupe), et une discipline moins attendue, se substituant à celles du programme, identifiée par René comme propice au travail avec cet outil : le Français. René vise des compétences en lecture, compréhension de consignes, écriture à travers le projet d'écrire une histoire, à travers aussi l'enchaînement d'actions dans le temps, et l'importance de planifier et d'ordonner des événements pour créer un récit. Ces visées sont déclarées dans les entretiens et à nouveau dans les séances observées où René les répète plusieurs fois au chercheur qui filme. Il nous dit aussi dans l'entretien post séance 2 : « *C'est un vrai exercice de lecture! [...] il y a des mots de déplacement [...] c'est pour ça que je pense qu'il y aura un passage d'écriture en classe* ». Plus loin : « *J'avais perçu le rapport à l'écriture avant, mais alors là, autant de lecture, j'me rends compte s'ils lisent pas bien leurs briques, ils peuvent pas se..., euh..., programmer.* »

Ces choix permettent à René de temporiser, le temps qu'une Gipro de Scratch s'installe (incluant adaptation de schèmes anciens et nouveaux repères comme on le verra dans la suite). Notons que ces choix de temporisation se font par réduction de la distance instrumentale introduite par Scratch.

3.5. Évolution de la Gipro grâce à une prise de repères

René évolue dans sa gestion des séances. Par exemple, le geste professionnel consistant à faire éteindre les écrans lors des temps collectifs (idée apportée précédemment par un enseignant-ressource) est maintenant systématiquement utilisé. René l'emploie à nouveau ici dans les bilans et dans les débuts de séance. Il nous glisse en aparté : « *J'y avais jamais pensé, mais c'est..., c'est radical!* »

D'autres évolutions sont ici observées. Comme dit plus haut, nous avons notamment comparé les deux séances et les processus en jeu autour des connaissances **A**, **B** et **C**.

René répète sa séance sur deux demi-classes. Cette répétition génère un début de GI tant personnelle que professionnelle. Dans la Gipro, les schèmes professionnels d'action instrumentée avec Scratch pourraient comporter les ingrédients présentés dans le tableau 1, qui proviennent d'une réactivation de schèmes antérieurs en même temps que d'apports liés à la situation nouvelle.

Les conduites observées sont encore à un stade très précoce de développement. Elles ne permettent pas d'aller jusqu'aux schèmes tels que décrits par Vergnaud (1990). Comme nous l'avons dit, l'enseignant semble n'avoir prévu ni **A**, ni **B**, ni **C**. Les observations montrent en outre que le vocabulaire lié à Scratch est fluctuant (par exemple « page » désigne tantôt le script tantôt le plan de déplacement), nous avons évoqué plus haut un autre exemple avec le vocabulaire lié aux coordonnées. S'il souhaitait institutionnaliser ces objets, les termes manqueraient à René. Ces connaissances ont ainsi manqué d'une part aux élèves, ce qui les a freinés dans leur utilisation de l'outil, d'autre part à l'enseignant, ce qui l'a freiné dans ses aides aux élèves.

Néanmoins, l'observation des séances, notamment des interactions avec les élèves, montre certains repères pris qui traduisent des évolutions au fil de ces deux séances :

- à la fin de la séance 1, René a clairement pris conscience de la connaissance **A**;
- la prise de conscience de la connaissance **B** arrive elle aussi, en cours de séance 2, mais de façon plus fragile ;
- en revanche, pour la connaissance **C**, nous avons peu d'indices prouvant une prise de conscience.

En effet, pour **A**, en fin de séance 1, René pointe cette fois directement cette connaissance (sans pour autant chercher à connaître le repère qui génère ces coordonnées) auprès des élèves concernés, puis la mentionne collectivement avec le groupe 2. Dans l'entretien post-séance, il dit lui-même avoir découvert le problème lié à la connaissance **A** pendant la séance : « *les coordonnées du pointeur étaient affichées à l'écran !* »

Tableau 1 • Ingrédients de schèmes participant à la Glpro de René à ce stade

Buts, sous-but	Règles d'action, de prise d'information, de contrôle contingents à la situation	Invariants opératoires (concepts, théorèmes en acte) issus d'autres schèmes
<p>But : Travailler sur la découverte d'objets, l'appropriation de techniques instrumentées.</p> <p>Sous-but : Utiliser les consignes 1 et 2 pour des objectifs d'enseignement et d'apprentissage (qui auraient pu être ici mathématiques et informatiques, mais René choisit un objectif lié à l'apprentissage de la langue française : lecture, écriture, projet sur le long terme de la réalisation d'un récit).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Observer les actions des élèves et coconstruire avec eux des connaissances instrumentales qui participent d'une Glpe : - faire manipuler les élèves individuellement et en binômes ; - chercher à savoir ce que fait l'élève - laisser l'élève découvrir par lui-même, le laisser construire ses connaissances instrumentales, l'accompagner si possible ; - placer les élèves dans une démarche d'essai-erreurs pour sélectionner les bonnes fonctionnalités de l'outil ; - organiser la séquence sous un format « projet » ; - définir les connaissances que permettent de travailler ces objets ou ces techniques. 	<p>Théorèmes en acte : Le travail en groupe favorise l'avancée des élèves dans la tâche et donc les apprentissages. L'action concrète, la manipulation, donnent du sens. En cherchant à comprendre ce que fait l'élève, je peux à la fois définir les connaissances en jeu, l'accompagner dans l'élaboration de celles-ci ou bien si je suis dans la même situation, montrer l'exemple à l'élève.</p> <p>Concept en acte en jeu : Connaissances professionnelles pédagogiques et didactiques sur l'apprentissage par la mise en situation, l'approche par projet, (pour un schème fonctionnel, il faudrait y ajouter des connaissances didactiques sur les connaissances mathématiques et informatiques en jeu ici)</p>
<p>Sous-But : En cas de difficultés avec les objets techniques.</p>	<p>Identifier les « connaissances défaillantes » ; sinon, assumer ne pas savoir pour montrer l'exemple (être en situation de recherche, ne pas se décourager). Si possible, évoquer les points importants collectivement en début de séance.</p>	<p>Théorèmes en acte : Il est nécessaire de corriger les élèves de leurs connaissances « défaillantes ». Anticiper les connaissances défaillantes en début de séance permet d'accélérer l'avancement didactique dans la séance.</p> <p>Concept en acte en jeu : Connaissances professionnelles pédagogiques et didactiques sur l'apprentissage par essai/erreur, l'approche par résolution de problèmes</p>

Les débuts de séance subissent également une évolution et ne sont pas conduits de la même façon. Avec le groupe 1 : aucune des difficultés **A**, **B** ou **C** n'est mentionnée dans la présentation collective du début d'heure. Avec le groupe 2, le moment collectif de début de séance est plus structuré. René y mentionne cette fois d'emblée le point **A** au niveau des coordonnées, mais sans le repère sous-jacent permettant le contrôle mathématique. La fonctionnalité d'affichage des coordonnées reste alors, à ce stade, mystérieuse, fonctionnant comme une boîte noire.

Les points **B** et **C** ne sont pas mentionnés, mais en cours de séance 2, René prend conscience de **B** et, une fois ce repère pris, est capable d'aider les élèves lorsqu'il leur manque une position initiale. Un indice de cette prise de repère est le regret qu'exprime explicitement René au cours de la séance 2 à plusieurs reprises auprès des élèves de n'avoir pas aussi précisé cette difficulté en début de séance, collectivement.

Enfin, comme René n'évoque jamais **C** et que les difficultés liées à cette connaissance persistent jusqu'à la fin, nous faisons l'hypothèse qu'il n'a pas perçu cette information dans le cours de la situation, celle-ci n'est pour l'instant pas un repère didactique pour l'enseignant.

Le tableau 2 résume l'évolution des GIpe et GIpro de René sur ces trois connaissances le long de ces séances consécutives.

Tableau 2 • Évolution des GIpe/GIpro de René sur les 3 connaissances en jeu

Connaissances	Groupe 1	Groupe 2
A : Coordonnées et existence d'un repère	Coord. : NON au début, prise de conscience le long de la séance. Repère : NON	Coord. : OUI et va plus loin, demandant pour ce groupe : « départ et arrivée différents » Repère : NON
B : Initialiser si nécessaire position/orientation de départ	NON	NON au départ, mais prise de conscience le long de la séance pour les déplacements. Non pour les orientations.
C : Script par lutin	NON au début, puis OUI	OUI et NON

3.6. Résumé du cas de René

Cette GIpe de Scratch bien peu avancée chez René a eu plusieurs conséquences : elle est à l'origine de sa difficulté à faire avancer les GIpe des élèves, mais aussi des faits suivants (observations qui se dégagent de notre méthodologie sur les plans cognitif et médiatif) :

- déplacement des connaissances visées vers d'autres domaines :
 - recours au français,
 - recours à des visées transdisciplinaires et socialisantes ;
- orchestrations organisées en binômes et travail en groupe ;
- posture enseignante assumée de novice en situation de recherche ;
- pas d'institutionnalisation en fin de séance ;
- évolution de la GIpro (on observe des modifications entre le groupe 1 et le groupe 2, grâce à des prises de repères avec le groupe 1).

Ces choix cognitifs et médiatifs (faits 1 à 4) s'expliquent par la recherche d'une temporisation (faits 3, 4 et sans doute fait 1) ainsi que par deux autres mécanismes qui jouent dans le développement de schèmes de la GIpro :

- la réduction de la distance permettant de recourir à des schèmes anciens (faits 1, 2) ;
- la prise de repères nouveaux (observée dans l'évolution décrite dans la partie 3.5).

Les points 1 à 4 se retrouvent dans l'expérimentation avec les robots qui montre aussi une évolution des GIpro avec cette fois le recours net à des schèmes anciens.

4. Utiliser les robots aux cycles 2 et 3 (CP, CE1, CM1, CM2)

4.1. Outils, acteurs et données recueillies

Les quatre enseignantes auxquelles nous nous intéressons participaient à un groupe de travail départemental (4 réunions dans l'année) qui réunissait des chercheurs, des inspecteurs et des conseillers pédagogiques, pour traiter les problèmes matériels et suivre l'avancée des expérimentations avec les robots. Les tableaux 3 et 4 précisent les dotations de robots et les données filmées qui recouvrent la période des expérimentations.

Comme mentionné plus haut, nos vidéos relatent, pour une séance donnée, une multiplicité d'épisodes de travail de durées variables, collectifs ou en petits groupes. Même si toutes les séances n'ont pas été filmées, l'analyse des

vidéos, les verbatim des réunions du groupe départemental et les entretiens individuels dévoilent des éléments précis des GIpe et GIpro des enseignantes.

Les quatre enseignantes ayant l'habitude de travailler ensemble avaient développé des conceptions, approches et styles d'enseignement très proches (pédagogie par projets, travail en groupe, pari du socioconstructivisme). Cette proximité de pratiques permet de présenter une analyse commune de leurs genèses instrumentales.

Tableau 3 • Fonctionnalités des différents robots expérimentés




Bee-Bot	ProBot	Thymio
		
Se programme à l'aide des touches de déplacement, d'une touche d'exécution (GO) et d'une touche d'effacement des instructions. Le programme actif n'est pas visible.	Se programme comme Bee-Bot, avec des instructions plus fines (par exemple indiquer de quelle distance avancer). Affiche le programme actif dans l'écran prévu à cet effet.	Dispose de capteurs de présence et suit un paradigme de programmation événementielle. Selon le mode sélectionné par l'utilisateur, le robot : 1/suit un objet présent ; 2/fuit un objet présenté ; 3/avance en autonomie en évitant les obstacles ; 4/suit une piste au sol ; 5/se laisse piloter en frappant des mains ; 6/se laisse programmer à l'aide des touches de direction.

Tableau 4 • Répartition des robots et vidéos recueillies

Enseignantes	Noémie	Alice	Fanny	Leila
Niveaux de classe	CP	CM2	CE1	CM1
Robots	Bee-Bot	Thymio ; ProBot	Bee-Bot	Thymio
Nombre de séances avec les robots effectuées sur l'année	14	14	13	13
Nombre de séances avec les robots observées et filmées	6	5	9	10
Nombre de vidéos recueillies	23	29	43	41

Dans les paragraphes suivants, nous examinons les GIpro des enseignantes, en nous intéressant à la genèse de leurs schèmes. Nous

distinguons, d'une part, les schèmes issus de schèmes anciens, et, d'autre part, ceux nouveaux, construits en situation. À chaque fois, nous décrivons ce que nous avons observé avant d'en livrer quelques analyses.

Nous commençons par quelques éléments sur la connaissance du domaine de l'informatique par les enseignantes et l'avancement de leurs GIpe relatives aux robots, qui éclairent et expliquent les orientations de leurs GIPro.

4.2. GIpe des enseignantes et conséquences sur leurs objectifs d'apprentissage

De par ce groupe de travail, les enseignantes cernent bien la présence d'un domaine nouveau, l'informatique, mais affirment régulièrement ne pas être à l'aise avec. Aussi, elles n'ont pas cherché à identifier ni à expliciter auprès des élèves des concepts informatiques qui auraient pu constituer des objectifs d'apprentissage, comme les notions de programme, d'instruction, d'exécution ou d'algorithme. Elles ont une perception assez floue de l'informatique, comme le montre cette intervention de Leila qui précise : *« Je pense qu'en leur donnant [aux élèves] du matériel avec un projet à réaliser, le fait d'avoir à penser un certain nombre d'actions qui vont s'enchaîner pour arriver à leur objectif, ça développe la pensée informatique. »* Leur choix est ainsi de travailler « en acte » l'informatique et ses concepts, à travers l'appropriation des robots qui ont accaparé toute leur attention.

Si les connaissances informatiques ne figuraient pas dans leurs objectifs d'apprentissage explicités, les enseignantes, en revanche, ont formulé d'autres savoirs. Ces savoirs ne furent cependant pas institutionnalisés et n'eurent donc pas le caractère solennel que l'on donne à de nouvelles connaissances. Il s'agissait de savoirs anciens, déjà connus des élèves dans d'autres contextes et qui étaient ici seulement réactivés. Tel est le cas, par exemple, de connaissances transversales liées à la résolution de problèmes en général et à la démarche expérimentale qui fut maintes fois réaffirmée auprès des élèves (émission d'hypothèses, expérimentations sous ces hypothèses, analyse des résultats et réitération avec de nouvelles hypothèses). Des connaissances d'autres disciplines furent également verbalisées, mais seulement au titre d'une démarche de projet fédérant plusieurs disciplines, et en amont ou en aval des séances avec les robots, jamais pendant les expérimentations observées.

En début d'année, les enseignants ne disposaient que d'une connaissance première du fonctionnement des robots, affinée au fil des mois en observant les travaux des élèves. Leur GIpe était ainsi peu avancée et s'est poursuivie tout au long des séances. Si les connaissances instrumentales nécessaires au pilotage des robots peuvent paraître simples de prime abord (appui sur les touches de direction de Bee-bot et ProBot, modes de fonctionnement aisément repérables de Thymio), elles s'avèrent en réalité plus complexes qu'il n'y paraît, du fait d'exceptions et de multiples finesses inhérentes aux différentes commandes.

Les GIpe des enseignantes sont ainsi restées peu avancées et trop peu assurées pour leur permettre d'affronter les difficultés des élèves et débloquer ces derniers si nécessaire. Le discours des enseignantes à ce propos est très explicite, à l'image de celui de Fanny qui explique : « *J'étais dépassée par les événements, car [les élèves] faisaient des choses trop compliquées, je ne voyais pas où était l'erreur.* »

Les vidéos donnent de nombreux exemples d'interactions avec les élèves attestant d'une GIpe peu assurée, y compris vers la fin de l'année. Alice attend la mi-année et la présentation d'un élève pour découvrir la possibilité d'intégrer une distance dans l'instruction de déplacement de ProBot. Leila, vers le dernier tiers de l'année, ne sait expliquer à un groupe d'élèves perplexes pourquoi Thymio ne se laissait plus guider par un objet alors qu'il était en mode « suiveur ». La prise en compte prioritaire d'obstacles trop proches, qui provoquaient alors un arrêt ou même un recul du robot, lui avait échappé. D'une façon analogue, Noémie avait sous-estimé l'importance à attribuer à la touche d'effacement d'instructions du robot Bee-Bot. Il arrive que les élèves, après avoir exécuté une suite d'instructions qui ne conviennent pas, testent un autre programme sans effacer préalablement l'ancien. La nouvelle suite d'instructions se rajoute donc à l'existante et amène le robot à reprendre en apparence le comportement erroné déjà observé. Pendant les premières séances, Noémie ne comprend pas d'où provient la reproductibilité des trajets programmés malgré les corrections, elle n'a pas encore attribué à la commande d'effacement d'instructions toute l'importance nécessaire.

4.3. Évolution des GIpro grâce à des schèmes anciens mobilisés

L'effacement, dans les objectifs d'apprentissage, des connaissances informatiques et la verbalisation, par les enseignantes, de connaissances transversales ou issues d'autres disciplines ont ouvert la voie à la

mobilisation de schèmes anciens correspondant à des pratiques éprouvées dans d'autres contextes d'apprentissage présentant des proximités avec les éléments en jeu ici : situations exploitant un milieu matériel, situations de travail en groupes d'élèves, situations d'organisation d'une séquence cohérente et progressive sur un temps long. Nous les détaillons ci-après.

Les enseignantes ont l'habitude d'organiser des apprentissages recourant à un milieu matériel sur lequel l'élève agit. Ces situations se trouvent, entre autres, en sciences (croissance des plantes, phénomènes en physique) et en mathématiques (matériel pour la numération de position, pour la notion de « volume »...). Pour gérer ces situations d'apprentissage avec milieu matériel, les enseignantes ont développé des schèmes tels que ceux évoqués dans le tableau 5.

Tableau 5 • Éléments de schèmes anciens participant à la Gipro : milieu matériel

Buts	Organiser des apprentissages en faisant manipuler les objets d'un milieu matériel.
Règles	Concevoir des situations nécessitant d'agir sur les objets du milieu matériel.
	Organiser un travail en groupe avec des mutualisations d'expériences entre élèves et des bilans collectifs.
	Mettre en place une résolution fondée sur la démarche expérimentale (énoncés d'hypothèses, essais sur le matériel, analyse éventuelle des erreurs, formulation de nouvelles hypothèses, etc.).
Invariants opératoires	Résoudre les situations en agissant sur les objets du milieu matériel permet aux élèves de construire les connaissances visées. Le travail en groupe est un vecteur puissant d'apprentissage. Il évite les blocages individuels, impose à l'élève de verbaliser, d'argumenter et de confronter ses représentations à celles de ses pairs et donc de développer ses propres représentations. La démarche expérimentale amène l'élève à construire ses connaissances. La formulation d'hypothèses, la conception de nouvelles actions et l'analyse des erreurs éventuelles permettent à l'élève d'amender ses représentations et donc d'élaborer de nouvelles connaissances.

La manipulation des robots que les élèves doivent programmer active ces schèmes parfaitement opérationnels. Les enseignantes ont maintes fois exprimé ce recours, comme le formule Noémie, en évoquant la règle de

travail en groupe : « *En groupe, j'étais à l'aise, je maîtrise pas trop mal, j'avais en tête mon rôle en tant qu'enseignante pendant le travail en groupe.* »

Les schèmes anciens liés au travail en groupe montrent quant à eux des adaptations. En effet, les travaux en groupe mènent souvent, en fin de séance, à une phase d'institutionnalisation des connaissances. Ici, aucune institutionnalisation n'a eu lieu tout au long de l'année, ni de connaissances informatiques ni de connaissances instrumentales liées aux robots. Les enseignantes n'ont jamais statué sur ces types de savoirs qu'elles n'ont à aucun moment formulé. Leur méconnaissance du domaine et leur propre G1pe liée aux robots, encore en construction, les ont amenées à se mettre en retrait et ne pas s'exposer.

Pour autant, les enseignantes n'ont pas renoncé à des phases de bilans collectifs à chaque fin de séance. Le schème ancien de travail en groupe comprenait en effet la nécessité d'organiser collectivement la circulation des expériences et des acquis des élèves pour assurer l'apprentissage de chacun. Ces phases de bilans collectifs ne comportaient donc aucune institutionnalisation de connaissances, mais se fondaient uniquement sur la restitution par les élèves de leurs travaux. Les enseignantes posaient des questions, confrontaient des points de vue et organisaient des débats entre élèves sans jamais prendre position. Elles relançaient la dynamique des échanges par des questions relatives à la réussite des actions (« *Est-ce que tu y es arrivé ?* »), aux démarches suivies (« *Le mode vert de Thymio, comment tu le sais ?* ») ou aux outils proposés (« *Est-ce que la bande programmation t'a aidé ?* »). Elles ne tranchaient pas : elles ne validaient ni n'infirmait les assertions et résultats présentés. Elles ne hiérarchisaient pas non plus les interventions des élèves, les valorisant de façon égale, quel que soit leur intérêt réel par rapport à la résolution des situations. Des propositions hors du champ mathématique ou informatique, telles que « *Le robot ralentit quand il est déchargé* », se voyaient ainsi autant considérées que des déductions plus fines sur le fonctionnement du robot.

Enfin, les enseignantes ont également utilisé des schèmes anciens liés à l'organisation, sur un temps long, d'une progression de tâches à résoudre (tableau 6).

Ce schème est souvent mobilisé par les enseignantes pour des apprentissages en mathématiques ou en français ; il organise les différentes tâches dans un ordre croissant de difficulté : application immédiate, situations problèmes, situations de recherche et problèmes ouverts.

Tableau 6 • Éléments de schèmes anciens adaptés aux robots : organiser une séquence cohérente et progressive sur un temps long

Buts	Organiser sur un temps long des apprentissages complexes liés à la programmation des robots.
Règles	<p>Prévoir une progression de tâches à résoudre présentant des difficultés croissantes. Contingence ici au cas des robots :</p> <ul style="list-style-type: none"> - tâches de découverte libre des robots, non finalisées par des buts à atteindre et destinées à en explorer le fonctionnement ; - tâches de reproduction par le robot d'un parcours préalablement donné sur un quadrillage plastifié ou simplement dessiné sur une feuille ; - situations problèmes (exemples : traversée simultanée d'un même quadrillage par 2 robots évoluant perpendiculairement l'un par rapport à l'autre ; suivi de circuits semés d'obstacles ; réalisation de défis à inventer...).
Invariants opératoires	<p>Une progression des tâches doit tout d'abord assurer une première acquisition des connaissances dans des contextes simples.</p> <p>Il s'agit ensuite de mettre ces connaissances en construction à l'épreuve de contextes de plus en plus complexes et ouverts, afin que l'élève puisse les consolider, évaluer les actions et potentialités des robots, comprendre leur intérêt et accéder à une vision stratégique de leur utilisation.</p>

4.4. Évolution des Gipro grâce à des schèmes nouveaux qui émergent en situation

Le recours à des schèmes anciens bien maîtrisés n'a pas suffi aux enseignantes pour assurer des apprentissages qui les satisfaisaient. Elles ont également élaboré des composantes de schèmes nouveaux propres à l'utilisation des robots. Nous en donnons deux exemples.

Les enseignantes ont repéré l'importance de la programmation des robots et la nécessité de faciliter cette activité des élèves. Ces repères les ont guidées vers un nouveau schème (tableau 7), celui d'une mise à distance de l'action, schème que la manipulation des robots a rendu nécessaire. Il est en effet possible de les programmer très rapidement (par simples appuis successifs des touches de déplacement) et d'exécuter instantanément le programme courant par une simple touche.

Toutes les enseignantes se sont ainsi retrouvées devant des groupes d'élèves qui entraient, parfois avec frénésie et sans réflexion réelle, une suite approximative de déplacements testés sans attendre puis modifiés

tout aussi rapidement, sans réflexion. Ceci se doublait généralement de tensions vives au sein des groupes, chacun voulant manipuler seul le robot du groupe. D'abord désarmées, les enseignantes élaborèrent alors progressivement des techniques de mise à distance de l'action en imposant aux élèves, avant tout nouvel essai, de mener une réflexion sur les raisons d'un échec. Le caractère nouveau de ce schème est indiqué par les interviews et interventions des enseignantes lors des réunions, ainsi que par le temps de sa mise en place, nécessitant deux à trois séances, contrairement aux schèmes anciens plus immédiatement mobilisés.

Tableau 7 • Ingrédients d'un schème nouveau de mise à distance de l'action

Buts	Dans un apprentissage médié par des objets et un milieu matériels (ici les robots), veiller à ce que les élèves mettent à distance l'action et n'enchaînent pas rapidement les essais sans réfléchir au préalable aux raisons de leurs échecs.
Règles	Afin d'imposer un temps de réflexion collectif avant toute action sur les objets, 2 leviers possibles : a/ imposer l'utilisation d'autres outils, par exemple : - nécessité d'écrire sur un support effaçable collectif (bande plastifiée) les touches de déplacements à entrer dans le robot, - programmer le robot seulement après l'accord du groupe ; b/ imposer une tâche sociale, par exemple : - un seul élève programme le robot, le groupe doit alors argumenter pour trouver un consensus, - une justification des choix du groupe doit être rédigée à l'intention d'un autre groupe, - des groupes émetteurs proposent un circuit à réaliser à des groupes récepteurs qui valident ou non les productions.
Invariants opératoires	Des actions dénuées de réflexion ne servent pas les apprentissages. La programmation des robots étant très rapide, il est essentiel que les élèves ne multiplient pas les essais sans procéder à un bilan approfondi de leurs échecs antérieurs. À défaut, les élèves pourraient ajuster leur programme erroné de façon aléatoire, donc sans remanier leurs représentations.

Lors des entretiens individuels et réunions, les enseignantes ont par ailleurs mentionné l'étape décisive que représentait, pour elles, l'acceptation de ne maîtriser ni le fonctionnement des robots ni les concepts informatiques en jeu, induisant un changement de posture par rapport aux élèves, l'enseignant cessant d'être un référent détenant le savoir visé. Habituellement, elles maîtrisaient les connaissances en jeu dans

les situations proposées. Ici, l'avancement insuffisant de leurs connaissances informatiques et de leurs GIpe relatives aux robots ne leur permettait ni d'affronter toutes les configurations choisies par les élèves ni de répondre à leurs interrogations. C'est une configuration nouvelle qui les projetait dans une forme d'insécurité professionnelle. Fanny déclarait par exemple : *« J'étais dépassée par les événements, car [les élèves] faisaient des choses trop compliquées, je ne voyais pas où était l'erreur. »* L'acceptation consciente de l'insuffisance de leur maîtrise des robots et le changement de posture qui en résultait vis-à-vis des élèves représentèrent un véritable déclic qui leur permit d'avancer et d'organiser dynamiquement leur classe. Fanny formula explicitement cette décision d'adopter cette nouvelle posture : *« J'ai découvert en même temps que les enfants, j'ai assumé que je vais faire en même temps que les élèves. »* Alice montra également à quel point fut cruciale la décision d'admettre posséder des connaissances lacunaires sur les robots. Elle sortit ainsi d'un état de stress bloquant et procéda à des avancées décisives qui débouchèrent sur la mobilisation de schèmes anciens, parfaitement maîtrisés : *« J'étais morte de trouille, [les élèves] découvraient ces objets, et moi je me rabattais vers ce que je savais faire, j'avais choisi de me rassurer, je suis partie de ce que je savais faire. »* Nous identifions ici les prémisses d'un nouveau schème, qui a vocation à être temporaire, mais qui a été décisif dans ces configurations, engendré en situation par les enseignantes, et leur permettant d'avancer dans leurs GIpro. Le tableau 8 en donne les constituants.

Tableau 8 • Un schème temporaire de changement de posture du maître

But	Assurer l'apprentissage de connaissances que le maître ne possède pas ou très partiellement.
Règles	Dans l'attente d'avoir plus de connaissances, ne pas s'exposer, ne pas intervenir sur les connaissances, ne pas statuer. Recourir à des schèmes anciens pour mener les séances (en particulier ici, ceux liés à la démarche expérimentale, au travail en groupe, au choix du social et de la manipulation) en les adaptant (par exemple ici, en éludant les phases d'institutionnalisation).
Invariants opératoires	Assumer ne pas savoir permet au maître d'apprendre en parallèle des avancées des élèves. Utiliser des schèmes anciens permet de mener les séances dans l'attente.

5. Discussion et perspectives

5.1. Deux leviers pour des pratiques nouvelles

Un trait commun à ces séances avec les robots ou Scratch est la facilité apparente avec laquelle les enseignants les géraient malgré les conditions difficiles. Non formés aux outils et n'ayant pas même identifié des savoirs mathématiques ou informatiques en jeu, ils ne se retrouvent pourtant à aucun moment en difficulté en classe. Nous avons relevé deux leviers qui sont utilisés pour conduire ainsi l'activité nouvelle, les deux échelles de temps mettant plus particulièrement l'un ou l'autre sur le devant de la scène.

Le premier levier est le recours à des pratiques anciennes, particulièrement montré, à une échelle de temps long, dans l'expérimentation avec les robots, mais utilisé aussi par René : « *Même si j'connais pas bien le domaine, bon voilà, j'ai des ressorts pédagogiques que j'emploie.* »

Les mécanismes d'ajustements et adaptations d'anciens schèmes dont parle Vergnaud, pour des situations différentes, mais en continuité avec celles connues, ont donc fonctionné aussi ici pour des situations considérablement nouvelles. Une condition importante semble avoir joué : la possibilité pour les enseignants de réduire la part de nouveau afin de pouvoir faire fonctionner des schèmes anciens. Tout se passe comme si nos 5 enseignants s'appuyaient sur des « ressorts » pédagogiques (pour reprendre les termes de René) provenant d'expériences antérieures, comme nous le constatons dans les invariants opératoires relevés dans le cas des robots, les outillant pour ces séances innovantes, lesquelles donneront à leur tour leur lot de repères d'enseignement. Si les situations nouvelles peuvent se rattacher à d'anciennes, c'est que malgré leur nouveauté, les enseignants ont réussi à y voir des proximités avec (ou à organiser) des situations proches de ce qu'ils pratiquaient déjà. Ils ont créé les conditions favorables pour que la nouvelle situation ne soit pas trop distante. Par exemple, même si les repères acquis ne leur suffisaient pas encore à identifier des visées possibles d'apprentissages mathématiques ou informatiques (même si on en voit un début chez René avec l'identification, en fin de séance 1, de l'importance des coordonnées, ou, chez les enseignantes, avec l'importance du programme entré dans les robots), notre analyse des buts et sous-butts des séances montre que les enseignants se sont tournés vers des visées ou domaines de substitution dont les choix (apprentissage transversaux, français ou sciences) pourraient à nouveau s'expliquer par la

recherche d'une distance minimale à leurs pratiques usuelles. Les deux expérimentations montrent ainsi comment les choix des enseignants dans ces situations innovantes leur ont permis d'utiliser des schèmes professionnels anciens qui ont pris le relais le temps que leur GIpro se développe, c'est-à-dire que des schèmes nouveaux s'installent : ils ont organisé les conditions telles que la distance aux anciennes pratiques ne soit pas hors de portée.

Un second levier est la prise de repères sur des éléments pertinents de la situation, particulièrement montré à une échelle de temps court, se focalisant sur un moment de développement de GIpro dans l'expérimentation avec René, mais visible également chez les enseignantes avec les robots. Pour René, c'étaient les connaissances **A**, **B** et **C** (mêlant connaissances mathématiques et instrumentales), mais aussi leurs conséquences didactiques en termes :

- d'erreurs possibles des élèves ;
- d'aides possibles de l'enseignant à apporter au cas par cas ;
- de conduite possible par l'enseignant du moment collectif de début de séance (par exemple avertir collectivement que le personnage a des « coordonnées », même si le mot n'est pas encore celui-là) ;
- de règles de contrôle ; par exemple pour la connaissance B (nécessité d'initialiser une position), une règle que René a commencé à mettre en place, face à des erreurs d'élèves, a été de regarder systématiquement le début du script pour y contrôler la présence ou non d'une position initiale (à tel point que parfois il a commencé à attribuer cette explication à d'autres erreurs, avant de s'apercevoir que cela ne résolvait pas la difficulté observée).

Ces repères cognitifs et médiatifs sont de bons candidats pour contribuer au développement ultérieur de règles de conduite, d'invariants comme de concepts en acte et finalement de schèmes d'une GIpro faisant de Scratch un instrument didactique du travail de René.

Les deux leviers n'agissent pas indépendamment, repères nouveaux et distance aux anciens schèmes, ou encore repères anciens réutilisés dans une situation nouvelle, distante, mais pas trop, semblent ainsi jouer l'un avec l'autre. Les deux expérimentations soumettent l'hypothèse que le recours au levier « anciens schèmes » est une façon de temporiser, le temps d'acquérir suffisamment de repères pour générer des schèmes qui ne seraient plus de simples ajustements d'anciens, mais de nouveaux schèmes adaptés à une nouvelle classe de situations.

En effet, les deux expérimentations montrent des stratégies de « temporisation », autre trait commun : les enseignantes avec les robots prennent la décision comme nous l'avons vu de repousser toute institutionnalisation de connaissances instrumentales ou informatiques, se donnant le temps avant de s'exposer. Pour gagner du temps pour en connaître plus, dans l'interview post séances, René, lui, dit : « *Il me semble prudent que moi... il faut que j'explore [...] parce que j'ai essayé en fait euh, j'm'en suis pas trop bien sorti. Donc j pense qu'il faut refaire une semaine de plus d'exercices de... euh..., de découvrir un peu [...] ça peut être bien. Avant de les lancer sur un projet.* »

En conclusion, nous saisissons un processus dynamique, en cours, dans lequel l'inédit est ainsi géré par l'enseignant soit par la construction de nouveaux repères didactiques qui vont donner lieu à de nouvelles connaissances au fil des séances et, par la suite, à de nouveaux schèmes, soit par le recours à des stratégies de réduction de la distance permettant de revenir à des situations anciennes, et donc à des schèmes connus.

Dans la suite, nous approfondissons cette dialectique distance-repères qui permet de donner un cadre pour penser des adaptations réactives et rapides des enseignants, comme ceux étudiés ici.

5.2. Distance aux pratiques habituelles et repères

Bien qu'on ne puisse tirer de généralités de quelques cas d'études, il nous semble que les phénomènes relevés ici, de réduction de la distance et de prise de repères, peuvent se formuler comme hypothèses pour expliquer et comprendre les pratiques observées dans les situations d'enseignement lorsqu'il s'agit d'intégrer du « nouveau ». En effet, ces conclusions observées ici dans les deux cas d'étude, sur cinq enseignants, rejoignent d'autres travaux et trouvent une assise théorique grâce à la notion de « schème ».

Un schème est une organisation de l'activité (avec connaissances, invariants opératoires et buts) qui possède une stabilité au sein d'une classe de situations. Ici, observant des pratiques naissantes, nous n'avons pas encore ce genre de stabilité. L'originalité du travail mené est la mise en évidence d'organisations de l'action à un stade encore naissant, non stabilisé. Les enseignants étant observés à un stade très précoce de leurs GI tant professionnelles que personnelles avec ces outils, nous observons ce que nous avons appelé des « schèmes en germes », tremplins pour construire des schèmes pérennes, avec des invariants opératoires constitués. Notre hypothèse peut alors s'exprimer en termes de schèmes : les phénomènes observés dans ces deux

études de cas sont, toujours en se référant aux travaux de Vergnaud, deux processus à l'œuvre pour créer de nouveaux schèmes, l'un passe par la prise de repères nouveaux, constituants de schèmes futurs, l'autre par la réduction de la distance instrumentale que peut introduire l'outil, permettant l'évolution et l'adaptation de schèmes anciens.

Le phénomène de réduction de la distance, provoqué par l'irruption de « nouveau » dans des pratiques anciennes, avait déjà été observé dans nos travaux antérieurs, dans le cas de l'intégration d'un logiciel nouveau pour l'enseignement des mathématiques au collège, c.-à-d. le tableur pour l'algèbre (Haspekian, 2005), comme dans le cas d'un domaine nouveau (l'algorithmique) dans l'enseignement des mathématiques au lycée (Haspekian et Nijimbéré, 2016). Le premier cas avait mené à l'idée de « distance instrumentale » ; les évolutions d'une même enseignante sur 2 années allaient tous dans le sens d'une réduction de la distance instrumentale liée au tableur. Le second cas est celui de l'introduction de l'algorithmique au lycée, où des phénomènes analogues à ceux liés à la distance instrumentale s'observaient : tensions et résistances des enseignants, pratiques de juxtaposition (devoirs à la maison non intégrés au reste) et, là encore, mise en place de situations minimisant les écarts provoqués par l'intégration de l'algorithmique, domaine à l'époque nouveau dans l'enseignement usuel des mathématiques au lycée. L'écart provoqué cette fois par un domaine nouveau (et non plus un instrument) avait alors été qualifié de « distance » aux pratiques usuelles en étendant l'idée initiale de « distance instrumentale » (écart provoqué par un instrument) (Haspekian, 2017).

Le « nouveau » et la distance afférente, dont il est question ici, sont encore plus considérables que dans ces deux cas : instrument nouveau, domaine nouveau et discipline nouvelle. Comme dans les deux recherches antérieures, on retrouve ici des stratégies de réduction de la distance, pour s'approcher de pratiques anciennes, et retrouver des repères didactiques déjà construits permettant de mener l'activité nouvelle. Cela s'opère par un déplacement de la discipline visée pour René qui effectue un virage vers le Français dont il maîtrise bien l'enseignement, ou vers des compétences transversales (travail en groupe, attitude lors de la recherche d'un problème...). Les enseignantes utilisant les robots empruntent, elles, à la démarche expérimentale pratiquée dans l'enseignement des sciences pour viser, comme René, des compétences transversales (travail en binôme, projet de classe, argumentation, socialisation...), dont la gestion peut là aussi aisément se transférer, car sans « concepts » sous-jacents.

Enfin, ces résultats peuvent être mis en perspective également avec ceux de Goigoux lorsqu'il analyse non pas des contextes inédits à une échelle « macro », comme c'est le cas ici, mais des épisodes inédits à une échelle plus « micro », par exemple l'action à mener face à un élève qui rencontre un obstacle non prévu par le professeur : *« des schèmes anciens sont évoqués pour élaborer une conduite professionnelle adaptée. Les tentatives effectuées par les enseignants pour faire face à cet imprévu ne sont pas l'effet du hasard, mais résultent de la parenté, soudain perçue, entre certains indices présents dans cette situation et les indices présents dans les situations antérieures analogues (Goigoux, 2002b). Dans les cas les plus favorables, la situation nouvelle est assimilée par l'un des schèmes évoqués. Dans d'autres, une accommodation plus coûteuse sera nécessaire (Vergnaud, 1996). »* (Goigoux, 2007, p. 54-55)

Nous sommes ici dans ce dernier cas d'une accommodation plus coûteuse, la distance engendrée par l'inédit étant plus grande. En prolongeant le raisonnement, on peut faire l'hypothèse qu'au-delà d'une certaine distance limite, l'accommodation n'est plus possible. Cette distance décrit donc en quelque sorte celle d'une « zone proximale de développement » côté enseignant, ou « ZPD professionnelle », idée que l'on retrouve chez Courally et Goigoux (2007) dans le cas de développement professionnel d'un instrument didactique conçu pour l'apprentissage du français : *« le potentiel de développement des enseignants, c'est-à-dire l'intervalle entre ce qu'ils réalisent ordinairement et ce qu'ils pourraient réaliser au cours d'une genèse instrumentale »*. La notion est explicitement d'inspiration vygotskienne : cet espace potentiel des activités des enseignants avec l'outil est analysé en *« examinant ce qu'ils déclareraient réaliser, ne pas pouvoir réaliser et être prêts à réaliser. Cette zone proximale, par analogie avec la notion théorisée par Vygotsky au sujet du développement de l'enfant, est inférée à partir d'une analyse de leur activité présente et de questions portant sur leur éventuelle activité future »* (Courally et Goigoux, 2007, p. 2-3).

5.3. Perspectives

D'autres études seraient à mener pour analyser les pratiques mises en place par les enseignants dans des situations inédites afin d'étudier ces deux stratégies et avancer sur le front tant de la recherche que des besoins en termes de ressources et de formation.

Du côté de la recherche, grâce à la « double approche », des éléments sont identifiés pour décrire les idées de « repères » et « distance » (d'abord

instrumentale, puis plus générale) issues, elles, de « l'approche instrumentale ». Nous n'avons pas développé davantage ici ce cas intéressant de *networking*, où un des cadres aide à structurer les idées de l'autre, centrant la présentation sur les études de cas. Ces derniers nous amenant à parler de distance suffisamment « raisonnable », ou de « trop grande distance » hors de portée des schèmes anciens conduisent à l'idée d'une « zone proximale de développement » que certains auteurs ont déjà travaillée du côté du sujet enseignant (Cèbe et Goigoux, 2007). Ceci serait à approfondir également.

L'idée de « distance » (étendue par rapport à celle de « distance instrumentale ») paraît ainsi un outil pertinent pour les problématiques d'intégration dans des pratiques installées d'artefacts nouveaux (comme le tableur en algèbre au collège), de domaines nouveaux (comme l'algorithmique en mathématiques au lycée), mais aussi de disciplines nouvelles (comme l'informatique dans la scolarité primaire et secondaire...). Ceci nous semble devoir être pris en compte dans la formation, par exemple dans les ressources, mais aussi dans l'accompagnement du travail en classe. L'introduction d'un nouvel outil, par exemple, bouleverse les pratiques installées en les éloignant du cadre auquel l'enseignant se réfère, entraînant celui-ci à tenter de réduire cette distance par des pratiques peu efficaces ou peu pertinentes. Des formations adéquates pourraient permettre de réduire cette distance en donnant d'emblée des repères adéquats au lieu de les laisser se construire au fil du hasard ou du temps plus ou moins long. Comme le montre le cas de René, certaines des connaissances nécessaires à la mise en place de schèmes et au développement d'une Gipro efficace pour l'utilisation de Scratch par les élèves se construisent plus ou moins vite (connaissances **A** pour les coordonnées et **B** pour l'initialisation du programme), mais de façon incomplète (pour **A**, il manque la notion de « repère » et pour **B**, celle d'« orientation »). D'autres peuvent ne pas s'acquérir ou passer, un temps, inaperçues (dans notre exemple, la connaissance **C**). Y a-t-il des régularités dans les genèses instrumentales professionnelles observées ici (connaissances et repères qui s'acquièrent) au fil des séances, pour Scratch comme pour les robots ? L'idée serait alors de dégager des connaissances moins aisées que d'autres, qui seraient donc à mettre en avant en formation. Dans la lignée des travaux et du cadre théorique de Vergnaud, des jalons et repères à donner aux enseignants pour un enseignement de l'informatique seraient alors sans doute à penser en termes de champs conceptuels pour l'informatique, soulignant les connexions entre concepts ainsi que les problèmes auxquels ces concepts donnent sens, plutôt qu'en termes de concepts isolés.

Le travail est ainsi à poursuivre pour des élaborations tant du côté de la recherche, sur la question des tensions repère-distance et de leur intervention dans les schèmes, que du côté des besoins en formation.

RÉFÉRENCES

Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3), 245-274.

Balacheff, N. (1994). La transposition informatique. Note sur un nouveau problème pour la didactique. Dans M. Artigue, R. Gras, C. Laborde et P. Tavnignot (dir.), *Vingt ans de didactique des mathématiques en France. Hommage à Guy Brousseau et Gérard Vergnaud* (p. 364-370). La Pensée sauvage.

Cèbe, S. et Goigoux, R. (2007). Concevoir un instrument didactique pour améliorer l'enseignement de la compréhension de textes. *Repères*, 35, 185-206.

Courally, S. et Goigoux, R. (2007). Étudier le potentiel de développement des utilisateurs pour concevoir un instrument didactique. Dans *Actes du Congrès international « Actualité de la recherche en éducation et en formation » (AREF 2007)*. http://aref2007.u-strasbg.fr/actes_pdf/AREF2007_Sylvie_COURALLY_149.pdf

Drijvers, P. (2003). *Learning algebra in a computer algebra environment. Design research on the understanding of the concept of parameter* [thèse de doctorat, Université d'Utrecht, Pays-Bas]. <https://www.uu.nl/staff/phmdrijvers/Publications>

Goigoux, R. (2007). Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants. *Éducation et didactique*, 1(3), 47-69.

Guin, D. et Trouche, L. (dir.) (2002). *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique: un problème didactique*. La Pensée sauvage.

Haspekian, M. (2005). *Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques, étude du cas des tableurs* [thèse de doctorat, Université Paris 7, France]. HAL. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011388>

Haspekian, M. (2006). Évolution des usages du tableur. Dans J. B. Lagrange (dir.), *Genèses d'usages professionnels des technologies chez les enseignants* [rapport intermédiaire de recherche]. ACI-EF. <http://gupten.free.fr/ftp/GUPTEN-RapportIntermediaire.pdf>

Haspekian, M. (2011). The co-construction of a mathematical and a didactical instrument. Dans M. Pytlak, E. Swoboda et T. Rowland (dir.), *Proceedings of the 7th Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 7)* (p. 2298-2307). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02158191/>

Haspekian, M. (2017). Computer science in mathematics new curricula at primary school: new tools, new teaching practices? Dans G. Alon et J. Trgalova (dir.), *Proceedings of the 13th International Conference on Technology in Mathematics Teaching (ICTMT 13)* (p. 23-31). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01632970>

Haspekian, M. et Nijimbéré, C. (2016). Favoriser l'enseignement de l'algorithmique: une question de distance aux mathématiques? *Éducation et Didactique*, 10(3), 121-135.

Lagrange, J. B. (2000). L'intégration d'instruments informatiques dans l'enseignement: Une approche par les techniques. *Educational Studies in Mathematics*, 43(1), 1-30.

Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. PUF.

Ministère de l'Éducation nationale (MEN). (2016). *Document ressource Mathématiques-Espace et géométrie: Initiation à la programmation aux cycles 2 et 3*. Eduscol. <http://eduscol.education.fr/cid101461/ressources-maths-cycle-3.html>

Ministère de l'Éducation nationale (MEN) (2015). Programme d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4). *Bulletin officiel du 26 novembre 2015*. <https://www.education.gouv.fr/au-bo-special-du-26-novembre-2015-programmes-d-enseignement-de-l-ecole-elementaire-et-du-college-3737>

Pastré, P. (1997). Didactique professionnelle et développement. *Psychologie française*, 42, 89-100.

Pastré, P. (2007). Quelques réflexions sur l'organisation de l'activité enseignante. *Recherche et formation*, 56, 81-93.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.

Robert, A. et Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505-528.

Rogalski, J. (2004). La didactique professionnelle : une alternative aux approches de « cognition située » et « cognitiviste » en psychologie des acquisitions. *@ctivités*, 1(2), 103-120.

Trouche, L. (2005). Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques. Dans *Le calcul sous toutes ses formes. Actes de l'Université d'été de Saint-Flour*. Académie de Clermont-Ferrand, France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01559831>

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en didactique des mathématiques*, 10.2(3), 133-170.

Vergnaud, G. (2007a). Représentation et activité: deux concepts associés. *Recherches en éducation*, 4, 9-22.

Vergnaud, G. (2007b). In what sense the framework of conceptual fields can help us facilitate meaningful learning? Dans J. A. Ojeda Ortiz, M. A. Moreira et M. L. Rodríguez Palmero (dir.), *Proceedings of the Fifth International Meeting on Meaningful Learning* (p. 47-64). La Salle/Éd. SM.

Vergnaud, G. (2011). La pensée est un geste *Comment analyser la forme opératoire de la connaissance*. *Enfance*, 1(1), 37-48. <https://www.cairn.info/revue-enfance-2011-1-page-37.htm>

Vergnaud, G. (2013). Pourquoi la théorie des champs conceptuels? *Infancia y Aprendizaje*, 36(2), 131-161.



Didactique de la physique et conception d'un simulateur pour l'enseignement de l'astronomie au cycle 3

► **Géraldine BOIVIN-DELPY** (ELIADD, Université de Bourgogne Franche-Comté), **Pierre JOUBERT** (Institut UTINAM, UMR CNRS 6213, Université de Bourgogne-Franche-Comté)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article rend compte de la méthodologie de conception d'une interface numérique pour l'enseignement de l'astronomie. Nous justifions les contraintes didactiques ayant guidé notre travail au travers de plusieurs dimensions : les compétences des praticiens ; les hypothèses théoriques sur l'apprentissage à travers notamment des tâches épistémiques et des activités de modélisation et les contraintes institutionnelles liées aux concepts à enseigner. Nous présentons aussi la transposition de ces contraintes au sein de l'interface.

■ **MOTS-CLÉS** • didactique, apprentissage, enseignement, modélisation, tâches épistémiques, interface numérique.

■ **ABSTRACT** • *This paper reports the methodology used for the design of a digital interface unit devoted to astronomical education. Didactic constraints used to support this work are presented following different food for thought: teachers' skills; theoretical assumptions of learning based on epistemic tasks and modelization activities and institutional constraints related to learning concepts. And, we introduce the implementation of these constraints for the digital interface unit.*

■ **KEYWORDS** • *didactic, learning, education, modelization, epistemic tasks, digital interface unit.*

1 Introduction

Aujourd'hui, l'école ne peut éluder la question de l'introduction du numérique qui n'est pas seulement une révolution technologique, mais aussi un phénomène culturel et social qui imprègne nos vies quotidiennes. Étant donné sa mission de permettre aux élèves de développer les habiletés qui leur permettront de s'insérer dans la société de demain, l'école doit se saisir des opportunités fournies par le numérique pour apprendre à poser et résoudre des problèmes, à collaborer, à développer l'autonomie, la créativité, l'esprit critique... (IGEN, 2017). Aussi, les préconisations officielles liées à l'enseignement des sciences s'intègrent dans cette perspective en affirmant, depuis de nombreuses années, la nécessité de recourir à des pratiques pédagogiques basées sur des méthodes d'investigation (Rocard *et al.*, 2007), mais aussi en encourageant le développement de la science informatique, des techniques et des outils numériques (séminaire national : « Le numérique pour l'enseignement des sciences et de la technologie au collège et au lycée », avril 2018). Ces préconisations générales se traduisent dans les programmes de sciences expérimentales au cycle 3 de l'école primaire (CM1-CM2, soit 9-10 ans) par une démarche de construction des concepts scientifiques qui « exige des observations, des expériences, des mesures, etc. », mais aussi « la construction progressive de modèles simples, permettant d'interpréter celles-ci et d'expliquer une diversité de phénomènes, et de les prévoir » (MEN, 2015). Cette notion de « modèle » apparaît dans la partie liée à l'astronomie où elle est alors associée à d'autres approches comme la simulation. Toutefois, plusieurs recherches soulignent les difficultés des enseignants à la fois à concevoir et à implémenter des séquences de sciences fondées sur l'investigation (Marlot et Morge, 2016), mais aussi à réellement intégrer les technologies numériques dans leur enseignement (Gerard et Roegiers, 2011).

C'est dans ce contexte et dans le cadre d'une recherche collaborative que nous avons souhaité développer un environnement informatique pour faciliter l'enseignement et l'apprentissage de l'astronomie au cycle 3. Nous nous sommes intéressés à l'étude de la variation de la durée de la journée en différents lieux sur Terre et à différents moments de l'année. Nous proposons dans cet article de montrer comment nous avons pris appui à la fois sur des hypothèses théoriques, mais aussi sur une analyse des difficultés des élèves et des enseignants pour concevoir cet environnement informatique en collaboration avec des enseignants de cycle 3, des partenaires de la DANE et une entreprise experte en innovation numérique et en ingénierie digitale 3D. Dans une première partie, nous présenterons les cadres théoriques de référence

sur lesquels la conception s'appuie. La seconde partie sera consacrée à la présentation de l'artefact et à l'impact de ces cadres sur sa structuration.

2. Cadres théoriques soutenant la conception

2.1. Hypothèses générales sur l'enseignement et l'apprentissage

Nous ne cherchons pas ici à développer les hypothèses psychologiques fondatrices de la théorie socioconstructiviste, mais seulement à indiquer que nous y inscrivons nos travaux. Ainsi, nous considérons l'apprentissage comme le produit d'activités sociocognitives liées aux échanges didactiques enseignants-apprenants et apprenants-apprenants, ce qui impacte les situations d'apprentissage que nous développons : nous privilégions systématiquement la mise en activités des élèves autour de situations problématiques, la prise en compte des représentations des apprenants, les interactions entre pairs et avec le milieu, le travail de verbalisation, etc. (Boivin-Delpieu, 2020).

Pour préciser notre point de vue, et conformément à la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011), nous considérons l'apprendre et le faire apprendre comme solidaires. Ainsi, toute action didactique est vue comme une transaction entre un enseignant et des apprenants et dont les objets transactionnels sont constitués des objets de savoir. Construire une situation d'apprentissage implique donc nécessairement de penser réciproquement les actions du professeur en lien avec celles des élèves, mais aussi de penser l'organisation du milieu, c'est-à-dire « *le potentiel d'action virtuel* » que l'élève doit construire pour résoudre un nouveau problème (DPE, 2019).

Outre ces hypothèses théoriques liées aux modalités d'apprentissage, nous souhaitons intégrer à nos réflexions une composante épistémologique. En effet, à l'instar d'autres auteurs (Tiberghien *et al.*, 2007 ; Boivin-Delpieu, 2015), nous considérons que la signification du savoir en classe (et donc la construction des connaissances) est liée au fonctionnement du savoir de la discipline enseignée. Aussi, nous développerons, dans une première partie, le rôle des activités de modélisation dans l'élaboration des connaissances scientifiques et en particulier dans les apprentissages scolaires. De plus, nous avons souhaité associer à cette composante, une composante cognitive liée aux tâches épistémiques (Tiberghien *et al.*, 2007). Ainsi, la seconde partie permettra de mettre en évidence le lien entre les tâches épistémiques soumises aux élèves et les apprentissages scientifiques.

2.2. Les activités de modélisation dans l'apprentissage en physique

2.2.1. La modélisation en sciences physiques

Les physiciens qui visent à décrire, interpréter et prévoir les phénomènes du monde sensible, construisent des théories, susceptibles d'évoluer, voire de disparaître, mais dont le but ultime est de tendre vers l'universalité. Dans ce cadre, une théorie permet de définir un ensemble de principes qui décrivent les lois générales de la Nature et qui permettent de relier des concepts à des situations expérimentales. On peut, par exemple, citer la loi d'attraction universelle énoncée par Newton pour décrire l'observation de la chute des corps (1687). L'interprétation des expériences illustrant une situation physique ou une classe de problèmes ou d'objets physiques est alors décrite à partir d'un modèle qui ne tend pas à l'universalité, comme une loi ou un principe, mais à une généralité sur une classe de systèmes appartenant à des contextes différents.

« Le modèle, qui prend place dans la construction de cette intelligibilité est devenu un outil majeur de la démarche scientifique » (Morge et Doly, 2013). Toutefois, cette notion « bien que fort répandue dans la pratique scientifique comme dans la recherche épistémologique, ne ressort pas d'une définition unique. [...] La définition du terme n'est donc pas établie, et il n'est pas sûr qu'un consensus même approché existe à ce propos parmi les utilisateurs » (Johsua et Dupin, 1989). Cependant, il nous semble important de souligner sa fonction de mise en relation entre « réalité scientifique » et constructions théoriques. Selon Morge et Doly (2013), on peut parler de « réalité scientifique pour désigner la réalité sur laquelle les chercheurs travaillent, mais non pas celle que l'on voit, immédiate et intuitive, mais celle, contre-intuitive, qui est définie et désignée par la connaissance scientifique ». Ainsi, il s'agit d'adhérer à « un réalisme minimum qui ne postule aucune réalité transcendante qui excéderait la connaissance scientifique, tout en acceptant l'idée que les théories portent bien sur un monde objectif extérieur à elles, mais circonscrit aux objets dont elles construisent la connaissance ». Dans cet esprit, Walliser conçoit le modèle comme « un médiateur entre un champ théorique dont il est une interprétation et un champ empirique dont il est une synthèse » (Walliser, 1977). Le modèle n'est ni théorique, ni expérimental, mais il « représente non pas les propriétés du réel, mais seulement certaines propriétés. Il a une fonction sélective des données de l'expérience ; il sépare le pertinent du non pertinent par rapport à la problématique considérée. Il est un

instrument d'intelligibilité d'un réel dont la complexité des propriétés ne permet pas l'entière compréhension par la science : disons de façon plus explicite qu'en physique par exemple, la modélisation, par la sélection des données, par la considération exclusive de certains paramètres, par la précision d'hypothèses simplificatrices, permet la mise en œuvre de la mathématisation » (Bachelard, 1979).

Le modèle apparaît ainsi « *comme un système homomorphe à un système donné mettant en évidence certaines de ses caractéristiques* » (Walliser, 1977). Plusieurs types de modèles peuvent être distingués :

- les modèles descriptifs tels que des maquettes, des copies simplifiées des objets tels que nous les percevons (système solaire) ;
- les modèles images qui décrivent des objets non perceptibles par des copies supposées très agrandies (exemple du modèle planétaire de l'atome). Autrement dit, les modèles images englobent tout ce qui n'est pas accessible par nos sens ;
- les modèles analogiques qui s'appuient sur l'idée d'exploiter une ressemblance partielle entre deux réalités, l'une d'elles devant aider à mieux comprendre l'autre (analogie avec l'eau en électricité) ;
- les modèles symboliques qui traduisent une situation physique dans un langage plus ou moins abstrait. Ce langage peut être de divers ordres : le langage iconique tels que des symboles, des graphiques, des schémas, des courbes, des diagrammes (représentation linéaire de la loi d'Ohm, courbe de croissance) ; le langage logico-mathématique tel que des formules ($U = RI$). De plus, et toujours en accord avec les propos de Walliser (1997), les modèles peuvent assurer des fonctions diverses de représentation, d'explication et de prévision.

Ainsi, le modèle est le sujet sur lequel on réalise des calculs à partir des principes et des lois du cadre théorique auquel il appartient. Le modèle n'étant pas la réalité, mais une description (souvent imparfaite et partielle) de cette réalité, il est donc important d'avoir conscience de ses limites. Ces limites peuvent être de trois types :

- les approximations : il s'agit de quantités, d'effets ou d'éléments dont l'influence sur le comportement du système que l'on désire décrire est supposée très faible ;
- les idéalizations : il s'agit de propriétés ou de comportements du système qui sont simplifiés ou adaptés pour faciliter les calculs ;
- les transpositions : il s'agit d'utiliser un modèle hors du cadre théorique réel du système étudié.

Ces limites, et plus particulièrement leurs méconnaissances, peuvent constituer des situations de blocage dans les situations d'apprentissage et la mise en œuvre des tâches épistémiques associées.

2.2.2. Modélisation et apprentissage de la physique

Même si l'activité de modélisation des scientifiques est fondamentalement différente de celle des élèves, certains auteurs (Bécu-Robinault, 2002, 2004, 2018 ; Boivin-Delpieu, 2015 ; Buty *et al.*, 2004 ; Tiberghien, 1994) considèrent que, pour donner du sens à un concept scientifique, il est nécessaire que la démarche implique la mise en place de situations au sein desquelles les élèves devront mettre en relation des éléments des « *modèles et théories enseignés et la description d'une situation matérielle en termes d'objets et d'événements* » (Bécu-Robinault, 2004). Autrement dit, « *donner une explication, une interprétation ou une prédiction au sujet d'un événement du monde sensible, nécessite une activité de modélisation* » (Séjourné et Tiberghien, 2001), c'est-à-dire « *l'articulation de deux niveaux de description d'une situation : celui des modèles et celui des objets et événements* » (Bécu-Robinault, 2018). Cette approche des deux mondes et proposée par Tiberghien (1994), implique de définir les limites relatives à chacun de ces mondes.

Le niveau de la théorie inclut le niveau explicatif de la modélisation. Il est principalement constitué de concepts, de règles, de théories construites à partir d'une abstraction des données empiriques. Le niveau des objets et des événements, quant à lui, ne contient pas de système explicatif ; « *il est constitué de ce qui est étudié et non encore interprété* » (Bécu-Robinault, 2018). Notons que les mesures sont associées à ce niveau notamment car « *il semble difficile au novice de séparer la mesure de l'instrument qui l'a générée en explicitant le modèle sous-jacent à la conception de l'instrument* » (2018). Le modèle joue le rôle d'intermédiaire entre ces deux niveaux.

2.3. Tâches épistémiques et apprentissage de la physique

Pour construire des connaissances en sciences physiques et ainsi mieux comprendre le monde matériel, il est nécessaire que les apprenants puissent établir des liens entre des éléments de connaissance en jeu dans la construction des concepts visés (Tiberghien *et al.*, 2007). Ohlsson (1996) construit une catégorisation de tâches épistémiques rendant compte des raisonnements susceptibles d'établir ces liens : décrire, expliquer, argumenter, prédire, critiquer, définir.

De manière à mieux correspondre aux spécificités de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique, Tiberghien *et al.* (2005) proposent une nouvelle catégorie de tâches épistémiques « Questionner » et précisent les objets associés à la tâche (tableau 1).

Tableau 1 • Categories of epistemic tasks (Tiberghien *et al.*, 2005, p. 42)

Epistémic tasks	Theme (object of the task)	How
Describing	<ul style="list-style-type: none"> - Observable facts (events, objects, indications) - Graph, schema, image 	
Interpreting	<ul style="list-style-type: none"> - Observed facts - Concepts - Principle, laws, theoretical definition - Strategy of using principle, laws, theoretical definition, concept 	<ul style="list-style-type: none"> - Constructing relation between objects-events - Constructing relation between objects-events and physical quantities - Constructing relation between physical quantities
Predicting	<ul style="list-style-type: none"> - Experimental facts - Theoretical element - Relation between facts and theoretical element 	<ul style="list-style-type: none"> - Intuitively - From observation of objects or events - From theoretical elements
Defining	<ul style="list-style-type: none"> - Observed facts - Concepts - Principle, laws, theoretical definition 	
Explaining	<ul style="list-style-type: none"> - Observed facts - Concepts - Principle, laws, theoretical definition - Strategy of using principle, laws, theoretical definition, concept 	<ul style="list-style-type: none"> - Constructing relation between objects-events - Constructing relation between objects-events and physical quantities - Constructing relation between physical quantities
Questioning	<ul style="list-style-type: none"> - Observed facts - Concepts - Principle, laws, theoretical definition - Strategy of using principle, laws, theoretical definition, concept 	
Arguing	<ul style="list-style-type: none"> - Observed facts - Concepts - Principle, laws, theoretical definition - Strategy of using principle, laws, theoretical definition, concept 	
Critiquing (evaluating)	<ul style="list-style-type: none"> - Observed facts - Concepts - Principle, laws, theoretical definition - Strategy of using principle, laws, theoretical definition, concept 	<ul style="list-style-type: none"> Knowledge produced - by him/herself - by other

Une précédente recherche a non seulement montré la pertinence de cette classification pour analyser les savoirs en jeu à l'école primaire, mais a également montré que la variété des tâches épistémiques intégrées aux activités proposées aux élèves et non leurs répétitions constitue un facteur favorable à la construction des savoirs visés (Boivin-Delpieu, 2015).

3. Question de recherche

Nous situons cette recherche par rapport à cet état de connaissances scientifiques. Nous avons souhaité restreindre notre étude au domaine de l’astronomie, domaine pour lequel enseignants et élèves rencontrent des difficultés. D’une part, ces difficultés sont dues à une compréhension limitée des modèles et de la modélisation chez les élèves, mais aussi chez les enseignants. Par exemple, les modèles sont assimilés à une représentation de la réalité ou leurs fonctions heuristique et prédictive ne sont que rarement évoquées (Roy et Hasni, 2014). D’autre part, ces difficultés sont liées aux concepts enseignés. En effet, des incohérences entre ce qui est expérimenté et ce qui est enseigné (Kikas, 2006) peuvent apparaître, notamment parce que les élèves ont tendance à classer la Terre comme un objet physique et non astronomique et ainsi à lui attribuer des présupposés appropriés pour des objets physiques en général (organisation haut-bas, stabilité, solidité...) (Merle, 2002). Toutefois, d’autres recherches ont montré la pertinence de recourir à des simulations, notamment avec des techniques de réalité augmentée pour faciliter les apprentissages. En effet, cet intérêt potentiel est notamment expliqué par la possibilité pour les élèves d’apprendre par l’action et en situation en leur permettant de construire des connaissances d’une manière active et autonome (Fjeld et Voegtli, 2002), mais aussi par la possibilité de montrer simultanément des artefacts physiques et les notions abstraites qui y sont associées pour assurer une compréhension plus facile des concepts (Stedmon *et al.*, 1999) ou encore de faciliter l’élaboration de représentations de relations spatiales dynamiques et leur évolution dans le temps et l’espace (Shelton et Hedley, 2002). Ce dernier argument a d’ailleurs été établi lors d’une recherche menée dans le supérieur à propos des mouvements de la Terre. Sur ce thème, à notre connaissance, aucune recherche mettant en œuvre des outils de réalité augmentée n’a été menée au niveau primaire. En effet, Fleck et Simon (2013) ont montré l’intérêt du recours à cette technologie pour enseigner/étudier les phases de la Lune.

Aussi, dans ce contexte, nous avons souhaité concevoir un nouvel artefact pour faciliter l’enseignement et l’apprentissage de concepts scientifiques en astronomie au cycle 3 et tenant compte des hypothèses théoriques sur l’apprentissage notamment celles liées aux activités de modélisation, à l’influence des tâches épistémiques sollicitées, mais aussi aux difficultés couramment identifiées dans le domaine.

Nous exposons dans la suite la méthodologie développée puis nous montrons les résultats sur le dispositif non pas sous l'angle informatique, mais bien sous l'angle des apprentissages visés. L'interface numérique est conçue comme un outil facilitant l'appropriation des connaissances visées.

4. Méthodologie

La conception du dispositif pédagogique numérique s'intègre dans une recherche en cours. Comme le rappellent Burkhardt et Schoenfeld (2003), concevoir et implémenter une innovation technopédagogique dans un contexte éducatif se déroule sur de longues échelles de temps. En effet, afin d'élaborer ce nouvel artefact tenant compte à la fois de nos hypothèses théoriques, mais également des difficultés des enseignants et des élèves, nous avons opté pour les principes théorico-méthodologiques de la *Design-Based-Research* (2003) et organisé la recherche selon 3 phases de travail :

- l'analyse du problème concret par le groupe chercheurs et praticiens en collaboration ;
- le développement d'une solution ;
- un cycle itératif d'essais de la solution en situation réelle.

À ce jour les deux premières phases ont été réalisées. La première phase s'est déroulée sur un an environ et a permis d'analyser le problème à traiter, relatif à la modélisation et à l'usage de simulation pour l'enseignement et l'étude de l'astronomie à l'école primaire. Pour cela, les chercheurs ont travaillé avec trois enseignants volontaires qui ont accepté d'élaborer et d'implémenter une séquence dont les objectifs sont de faire le lien entre la variation de la durée de la journée sur Terre et les mouvements de la Terre. Étant donné les objectifs de la recherche, le recours à du matériel tangible et numérique (comme le recommandent les instructions officielles) a été imposé, mais l'organisation du milieu didactique et la planification des contenus ont été pleinement laissées à la charge des enseignants. Ainsi, nous considérons cette perturbation imposée à nos systèmes d'étude comme étant contrôlée (Chevallard, 1998) et relativement proche des pratiques ordinairement mises en œuvre. En effet, la plupart des ressources pédagogiques telles que les documents d'accompagnement ou les manuels scolaires préconisent le recours à du matériel tangible de substitution (balles, lampes, etc.) pour modéliser les mouvements de la Terre. De plus, les instructions officielles ajoutent que cette partie du programme pourra être traitée par des approches variées telles que les simulations. Le corpus principal recueilli, afin d'interroger les pratiques de ces enseignants et les conditions d'étude de leurs élèves, est constitué des séquences

implémentées filmées et de leurs transcriptions, des travaux des élèves, des fiches de préparation et des entretiens menés avec les enseignants. L'analyse menée conjointement entre chercheurs et praticiens et la revue de littérature préalable ont permis à la fois d'identifier les éléments spécifiques issus de la stratégie didactique permettant aux élèves de construire un modèle explicatif cohérent, intermédiaire entre leurs connaissances naïves et l'explication scientifique, mais aussi de repérer en quoi le déroulé de la séquence prévue par les enseignants contraint les tâches épistémiques imposées aux élèves c'est-à-dire la structure logique d'enseignement en relation avec les pratiques sociales de référence (Martinand, 1985).

La seconde phase de travail avait pour objectif l'élaboration de l'artefact. Aussi, chercheurs et praticiens ont traduit les hypothèses théoriques, les difficultés des élèves et des enseignants identifiées lors de la phase 1 en un ensemble de contraintes et besoins explicités dans un cahier des charges fonctionnel destiné à une entreprise experte en innovation numérique (<https://www.allucyne.com/en>). Ainsi, les contraintes techniques ont été laissées à la charge de l'entreprise associée. Cet objet a permis d'acter la collaboration chercheurs-praticiens-entreprise en recueillant à la fois des savoirs issus de la recherche et des savoirs pratiques (Lyet, 2011). L'entreprise associée a alors proposé à l'équipe, selon différentes étapes, des solutions techniques qui ont été discutées, testées puis retravaillées. Nous présenterons dans la suite la manière dont les hypothèses théoriques, traduites en contraintes et besoins, ont pris forme dans le prototype proposé.

La phase 3 permettra ensuite de tester ce prototype en conditions réelles et d'interroger le nouveau pouvoir d'action des enseignants ainsi que les nouvelles activités de modélisation des élèves.

5. Analyses *a priori*

5.1. Analyses *a priori* des savoirs visés

Notre question de recherche est en lien avec la partie « La planète Terre. Les êtres vivants » du programme de sciences expérimentales du cycle 3, et en particulier avec les connaissances associées : « Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même, autour du Soleil et cycle des saisons) ». Rappelons qu'à l'école primaire, les approches d'enseignement sont avant tout phénoménologiques et que les objectifs d'apprentissage sont tournés vers des modèles explicatifs permettant de comprendre et de décrire le

monde. Autrement dit, l'objectif n'est pas de faire découvrir aux élèves des lois générales sur la Nature, mais d'interpréter des observations expérimentales en mettant en jeu des éléments d'un modèle au sein d'une démarche scientifique rigoureuse, mais adaptée aux concepts maîtrisés en cycle 3.

Les instructions officielles préconisent d'étudier les mouvements de la Terre en lien avec le cycle des saisons c'est-à-dire en lien avec des phénomènes observables au cours des saisons et dont ces mouvements sont responsables.

Historiquement, les observations expérimentales interprétées par la rotation et la révolution de la Terre sont essentiellement les rétrogradations des planètes, l'apparition de nouvelles étoiles dans le ciel selon les moments de l'année (par exemple une étoile nouvelle dans la constellation de Cassiopée en novembre), la variation du mouvement apparent du Soleil (directions de lever et de coucher et hauteurs de culmination) pour un lieu donné (excepté à l'équateur) selon le moment de l'année. En accord avec les préconisations d'EDUSCOL (2016), nous avons choisi de focaliser notre étude sur la découverte et l'explication du mouvement apparent du Soleil au cours des saisons en différents lieux sur Terre. Avec des élèves de cycle 3, ce choix implique d'étudier en particulier la variation de la durée de la journée en un lieu donné au cours des saisons et/ou la variation de la durée de la journée pour des lieux situés à des latitudes différentes, mais à une longitude similaire, et ce à une date donnée.

Les champs théoriques en jeu, pour rendre compréhensibles ces situations matérielles, ont trait à deux domaines de la physique : la mécanique, avec notamment les lois de Kepler et les principes de Newton, pour les mouvements de la Terre ; l'optique géométrique, avec notamment les lois de Snell-Descartes, pour la formation de l'ombre propre à la surface de la Terre. Bien entendu, ces lois ne sont pas accessibles à des élèves de l'école primaire, mais les savoirs à enseigner relèvent d'éléments de modèles permettant de faire le lien entre ces réalités scientifiques et les constructions théoriques citées. En effet, pour comprendre la variation de la durée de la journée au cours des saisons, les élèves devront mettre en lien des éléments relevant du modèle héliocentrique, notamment la révolution de la Terre autour du Soleil respectant une inclinaison constante de l'axe des pôles par rapport sur le plan de l'écliptique avec des éléments du modèle de propagation rectiligne de la lumière, notamment la formation

d'une ombre propre sur une sphère placée dans un faisceau de rayons lumineux parallèles. Ainsi, les élèves pourront interpréter les observations expérimentales liées à la variation de la durée de la journée en termes de variation de la surface éclairée de la Terre. En somme, les objectifs visés par cette approche phénoménologique sont de découvrir le phénomène en jeu puis d'acquérir certains éléments du modèle explicatif en mettant en lien observations expérimentales et modélisation s'appuyant sur des théories bien identifiées : mécanique et optique (figure 1).

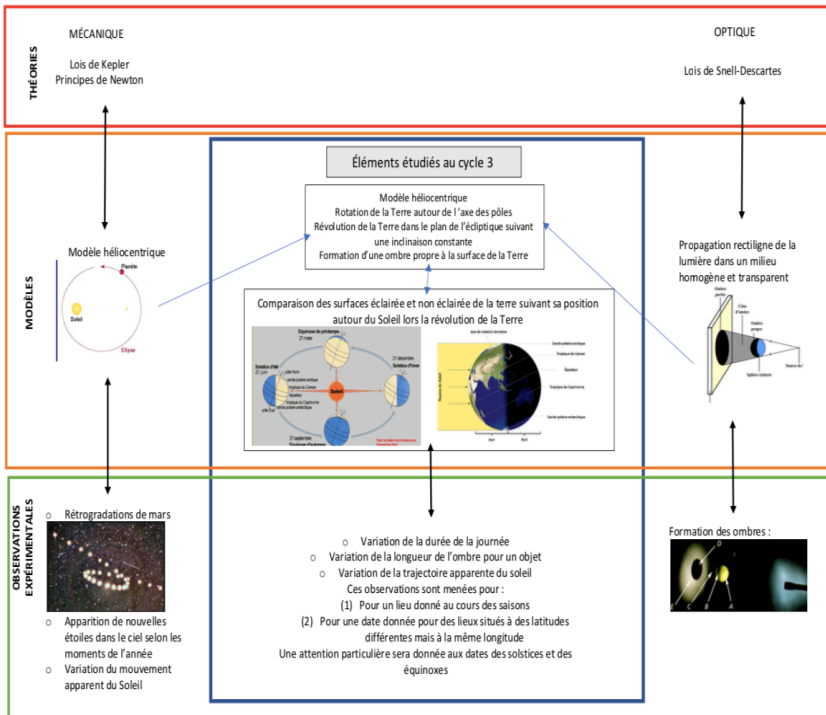


Figure 1 • Analyse a priori des savoirs visés

5.2. Analyse *a priori* du problème concret à traiter (phase1, DBR)

De manière à expliciter les difficultés des enseignants et des élèves lors de l'enseignement et de l'étude de la variation de la durée de la journée au cours des saisons, nous avons, certes, pris appui sur la littérature existante, mais aussi sur l'analyse des données récoltées lors de la phase 1 de notre recherche. Nous avons analysé les processus cognitifs des apprenants du point de vue des activités de modélisation lors des activités scientifiques visant à expliquer les phénomènes observables ainsi que les tâches épistémiques mises en œuvre (Boivin-Delpieu, 2020).

L'organisation thématique des séquences élaborées et implémentées par les enseignants partenaires lors de la première phase de cette recherche (analyse du problème) rend compte d'une structuration selon un enchaînement logique et répété d'éléments.

D'abord des phénomènes issus du monde des objets et des événements sont donnés à voir aux élèves et font émerger un questionnement scientifique. Par exemple, une étude documentaire met en évidence, pour une date donnée, la variation de la durée de la journée pour des lieux situés à une même longitude, mais à des latitudes différentes. La question scientifique posée à la classe sera alors de trouver une explication à ce phénomène. Dans cette classe, le logiciel Stellarium (<https://stellarium.org/fr/>) sera ensuite utilisé pour retrouver la durée des journées dans les lieux considérés lors de la première phase de travail. Dans deux classes, à partir des observations courantes des élèves, les enseignants poseront la question de la variation de la durée de la journée au cours des saisons dans la ville de l'école, mais aussi dans d'autres villes. L'un des enseignants utilisera alors une simulation pour confirmer les observations discutées en classe (https://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/minisites/projet_calendriers/eleves/Saison3D/index.html).

Ensuite, une activité ayant pour objectif l'interprétation du phénomène étudié est prévue. Dans chacune des classes observées, les enseignants ont choisi de proposer aux élèves de modéliser, par groupe, la Terre avec une balle en polystyrène et le Soleil avec une source lumineuse. Certains groupes parviennent à une interprétation cohérente des phénomènes étudiés.

Enfin, les connaissances sont structurées à travers une mise en commun des résultats obtenus lors des activités de modélisation avec du matériel tangible et menées par groupe. Dans l'une des classes, l'enseignant proposera le recours à une simulation pour décrire à nouveau les phénomènes observables étudiés et les éléments du modèle explicatif construit lors de la modélisation (simulation disponible à l'adresse : <https://education.francetv.fr/matiere/decouverte-des-sciences/ce2/video/la-duree-de-la-journee-au-cours-de-l-annee>).

Les résultats des analyses menées au sein du collectif enseignants-chercheurs révèlent des difficultés de nature différente liées à l'usage des outils numériques. En effet, d'une part, le choix des simulations est contraint par des difficultés d'ordre matériel (problème de connectivité, problème d'équipement des écoles, etc.) et d'autre part, par des difficultés liées à l'analyse préalable de ces simulations. Nous exposons succinctement les principaux résultats.

L'analyse révèle qu'en classe, les avancées vers les savoirs visés sont systématiquement et uniquement liées à des situations impliquant des objets tangibles et non numériques. En effet, dans chacune des études de cas, les simulations ne sont pas exploitées pour leur capacité interprétative d'un phénomène, mais très majoritairement pour vérifier des phénomènes, par ailleurs déjà mis en évidence. Autrement dit, l'usage prévu des simulations limite les tâches épistémiques associées : tâche épistémique de description des faits observables uniquement et jamais de tâche épistémique d'explication ou d'interprétation de ces faits. Ainsi, les activités des élèves sont contraintes dans le monde des objets et des événements. De plus, l'analyse montre également que les avancées vers les savoirs visés sont systématiquement liées à des situations impliquant des objets tangibles. Dans ces cas, on constate une réorganisation des éléments matériels du milieu selon le système de connaissances des élèves leur permettant de mettre à l'épreuve des observations caractéristiques du phénomène étudié. Les rétroactions fournies par les éléments matériels leur permettent alors de développer une stratégie conduisant à la construction de nouvelles connaissances. Toutefois, des difficultés ont été constatées lors de l'utilisation d'objets tangibles. En effet, les rétroactions du milieu via les objets tangibles se sont parfois révélées comme des obstacles à l'avancée des connaissances visées. Par exemple, un faisceau lumineux trop étroit de la lampe représentant le Soleil peut impliquer une mauvaise interprétation de la part des élèves de la surface éclairée de la balle représentant la Terre.

De plus, cette mise en œuvre dans trois classes différentes nous a permis une analyse des représentations courantes des élèves vis-à-vis de l'interprétation de la variation de la durée de la journée au cours des saisons. Sans rendre compte ici de l'analyse fine effectuée, nous pouvons classer ces représentations en plusieurs catégories : variation de la vitesse de rotation et/ou de révolution de la Terre, variation de la distance entre le Soleil et la Terre (variation de la hauteur du Soleil dans le ciel), variation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre ou encore des représentations plus rares comme variation de la densité de nuages.

6. Élaboration de la solution technodidactique

6.1. Présentation globale du dispositif

Conformément aux hypothèses théoriques sur lesquelles nous fondons nos travaux, l'interface n'a ni l'objectif de se substituer à l'enseignant ni celui de remplacer les interactions entre pairs, pas plus que celui de négliger le travail de verbalisation. En revanche, elle vise à mettre les élèves en activités autour de situations problématiques, à permettre l'émergence et la prise en compte des représentations des apprenants, tout en privilégiant les activités de modélisation et la variété des tâches épistémiques implémentées. Autrement dit, comme tout Environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH), elle a pour objectif « *d'enseigner un domaine de connaissances à un apprenant en intégrant l'ordinateur dans une relation pédagogique enseignant/élève* » (Laforcade, 2001).

Ainsi, selon la démarche scientifique d'apprentissage envisagée, l'interface numérique doit présenter deux qualités techniques différentes. Elle doit permettre de :

- reconstruire informatiquement un environnement réel afin d'étudier des phénomènes par ailleurs observables ;
- reproduire les activités de modélisation fondamentales pour la construction des connaissances visées tout en palliant les difficultés matérielles et cognitives identifiées dans l'analyse *a priori*. Exemples :
 - les difficultés rencontrées pour observer la surface éclairée lorsque le faisceau lumineux n'est pas assez large par rapport au diamètre de la balle,
 - l'impossibilité d'effectuer des changements de référentiels temporels (dates) et spatiaux (lieux sur la Terre) qui facilitent l'interprétation des phénomènes observés.

En plus de ces contraintes, le cahier des charges proposé à la société chargée du développement de l'artefact intègre plusieurs éléments de contexte, spécifiques aux situations d'enseignement, afin de répondre au mieux aux attentes des enseignants pour l'usage de ce type d'outils numériques. Les problèmes de connectivité dans les salles de classe impliquent de produire une application autonome ne nécessitant pas de faire appel à des serveurs externes (ordinateurs de la classe) ou des sites distants.

La nécessité de reproduire des environnements réels suggère le recours à la réalité virtuelle. Toutefois, nous avons écarté d'emblée la possibilité de recourir à des casques autonomes de réalité virtuelle. En effet, cet équipement, relativement onéreux, n'a pas été retenu car la plupart des recommandations actuelles proposent une utilisation de ce type de casques après l'âge de 13 ans c'est-à-dire pour des élèves plus âgés que ceux de cycle 3.

Enfin, les aspects de disponibilité et de mobilité sont essentiels pour espérer une appropriation facile de l'outil par les enseignants et les élèves notamment pour les phases de description, de questionnement, d'explication et d'interprétation. Il est important de prendre en compte d'autres contraintes notamment budgétaires pour les écoles (nécessité de s'équiper en matériels informatiques appropriés).

À partir de ce cahier des charges, le choix d'une application sur tablette, basée sur certains principes de la réalité virtuelle couplés aux avantages de la réalité augmentée a été validé par l'ensemble des partenaires du projet. Les tablettes ont en effet l'avantage d'être un outil mobile et facilement utilisable en classe notamment par petits groupes. Elles peuvent être regroupées dans le cadre d'une mallette pédagogique que chaque école pourra emprunter ce qui limite fortement l'investissement pour chaque école.

Par réalité virtuelle, on suppose que l'application propose de placer l'utilisateur dans un environnement simulé par l'outil numérique. La base du développement de l'application est de pouvoir placer l'élève dans des situations où les objets tangibles ne sont pas accessibles (changements de repère, de temps et d'espace), tout en prévoyant des interactions avec la simulation à travers des tâches réelles dans cet environnement virtuel. De plus, l'application s'appuie sur des principes de la réalité augmentée puisqu'elle doit permettre d'ajouter des éléments virtuels (informations, choix des paramètres, observables, etc.) aux éléments du modèle élaboré

(lieu à la surface de la Terre). Enfin, l'application permettra aux élèves de se déplacer autour du modèle construit : les élèves peuvent observer la sphère représentant la Terre en faisant le tour de cette dernière. L'interface utilise ainsi des éléments techniques empruntés à la réalité augmentée. C'est pourquoi on parle plutôt dans ce cadre de réalité mixte ou superposée.

Ainsi, le prototype, nommé TERRA-3D, est conçu selon trois modes d'utilisation, conformes aux principales étapes d'une démarche d'enseignement scientifique basée sur l'investigation. Le premier mode permet la découverte et l'analyse de phénomènes observables depuis la Terre suivies par la formulation de questionnements scientifiques. Le second mode englobe toutes les phases de résolution du problème scientifique ainsi posé. Il permet aux élèves de tester leurs hypothèses explicatives relatives aux phénomènes étudiés en construisant pas à pas un modèle conforme aux savoirs de référence. Les élèves ont alors l'occasion de faire varier plusieurs éléments du modèle et d'en tester les conséquences sur les phénomènes observables. Ils ont ainsi la possibilité d'interpréter les éléments décrits dans le mode 1. Enfin, le dernier mode permet la structuration des connaissances élaborées. Les élèves peuvent alors faire fonctionner le modèle, décrire les phénomènes observables, les interpréter et même les prévoir pour des dates et/ou des lieux non testés dans le mode 2. Les élèves peuvent également découvrir la place de la Terre dans le système solaire ainsi que les autres planètes et leurs caractéristiques.

6.2. Présentation et justifications du mode 1

Conformément à nos hypothèses théoriques, construire des connaissances scientifiques nécessite de faire des liens entre le monde des objets et des événements et celui des théories, notamment à travers des tâches d'interprétation. Il est donc indispensable que les élèves découvrent d'abord une série d'événements pour lesquels ils repéreront les régularités et les différences. Cette démarche observationnelle aidée par l'outil numérique permet de construire la question scientifique qui justifiera le travail d'interprétation. En effet, en lien avec les connaissances traitées dans notre projet, les élèves doivent être amenés à se questionner sur l'origine de la variation de la durée de la journée en un lieu donné et/ou l'origine de la variation de la durée de la journée à une date donnée pour des lieux situés à des latitudes différentes, mais à des longitudes similaires. La formulation de ces interrogations nécessite soit l'étude directe de la trajectoire apparente du Soleil en différents lieux et/ou à différentes dates, soit l'étude de la variation de l'ombre d'un même objet au cours d'une

journée, à des dates différentes et/ou en des lieux différents. Ces études peuvent être menées facilement dans une classe pour un lieu donné, mais nécessitent une durée d'observation longue par rapport au temps scolaire (sur plusieurs mois). En revanche, il n'est pas possible de mener des observations directes, réelles en des lieux différents avec une classe.

Aussi, la solution technique proposée grâce à un outil numérique de simulation doit pouvoir rendre possible cette étude d'événements en s'affranchissant des contraintes de temps et de lieux.

Ainsi, le mode 1, propose un environnement virtuel permettant de découvrir la trajectoire apparente du Soleil et celle de l'ombre d'un objet (un mur) pour six lieux, et ce pour n'importe quelle date entre 1975 et 2050 en Norvège, France, Algérie, Namibie, Antarctique et au Gabon.

Ces lieux ont été choisis selon deux critères :

- être situés à des longitudes similaires, ils permettront l'étude de la variation de la durée de la journée à une même date ;
- être situés à des latitudes différentes, ils permettront de mettre en évidence des caractéristiques différentes :

- France, de manière à comparer avec des observations réalisées en classe,
- Norvège, au-delà du cercle polaire, de manière à découvrir le jour et la nuit polaires,
- Algérie, de manière à visualiser la verticalité des rayons solaires au solstice d'été,
- Namibie, sur le tropique du Capricorne, de manière à visualiser la verticalité des rayons solaires au solstice d'hiver,
- Antarctique, au-delà du cercle polaire, de manière à découvrir le jour et la nuit polaires inversés par rapport au Svalbard,
- Gabon, sur l'équateur, de manière à constater l'égalité de la durée de la journée et de la nuit¹.

Les élèves peuvent à la fois choisir le lieu, mais aussi la date d'observation. De multiples possibilités sont donc offertes et les enseignants peuvent ainsi choisir la manière de faire étudier le

¹ Nous ne tenons pas compte de la réfraction atmosphérique et de la taille apparente du Soleil qui peuvent faire varier ces durées de quelques minutes.

phénomène. Suivant le niveau des élèves (CM1, CM2 ou 6^e), il est possible d'étudier le phénomène selon différents degrés de précisions, par exemple :

- étude pour un seul lieu à différentes dates ;
- étude pour une date et différents lieux ;
- étude pour des lieux et dates différents ;
- possibilité de tracer la trajectoire du Soleil pour une date donnée ;
- possibilité d'afficher les trajectoires du Soleil aux équinoxes et/ou solstices de manière à comparer la trajectoire actuelle avec ces dernières (figures 2a et 2b).

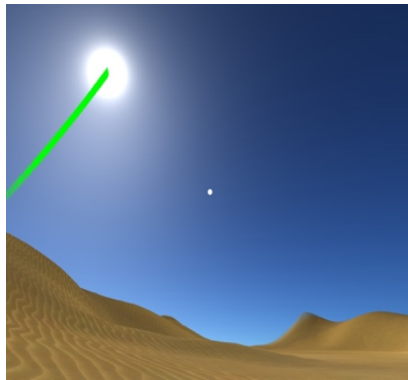


Figure 2a · Tracé de la trajectoire apparente du Soleil en Algérie le 24/04/20



Figure 2b · Comparaison de la trajectoire apparente du Soleil en Algérie le 24/04/20 avec celle obtenue le jour des équinoxes et le jour du solstice d'hiver

Quels que soient les choix de l'enseignant, ce mode implique, dans un premier temps pour les élèves, des tâches de description de faits observables décrits virtuellement grâce à l'outil numérique. Puis l'étude de ces faits permet de définir le phénomène physique étudié qui sera ensuite questionné. Le premier mode, quelles que soient les modalités d'utilisation retenues, permet de varier les tâches épistémiques au sein du monde des objets et des événements simulé et réel (figure 3).

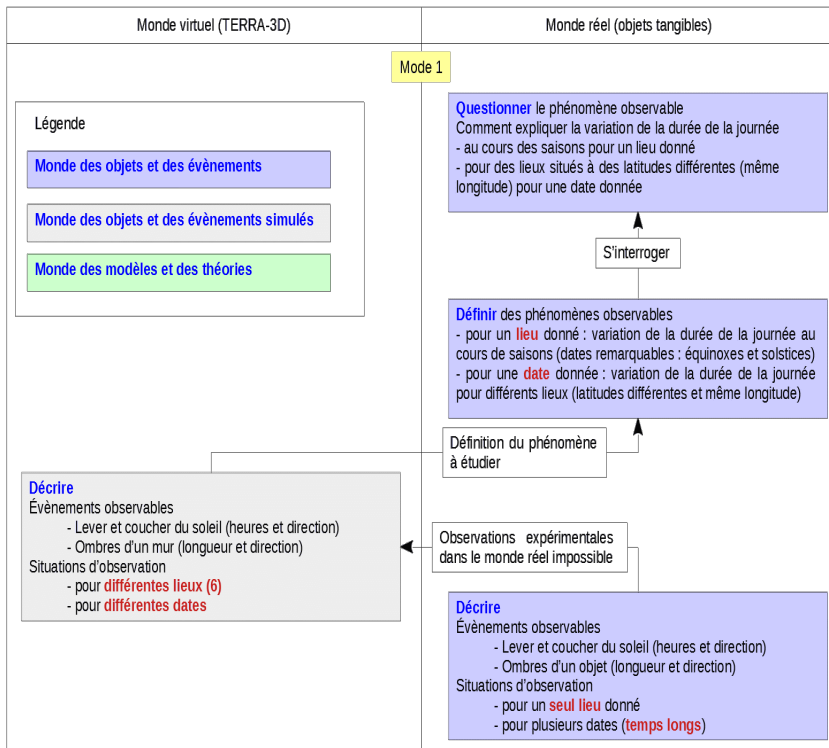


Figure 3 · Tâches épistémiques et mondes sollicités lors de l'utilisation du mode 1

6.3. Présentation et justification du mode 2

À l'issue du mode 1, la classe aura construit au moins l'une des questions suivantes : Comment expliquer la variation de la durée de la journée au cours des saisons pour un lieu donné ? Comment expliquer la différence de la durée de la journée pour des lieux situés à des latitudes différentes, mais à la même longitude pour une date donnée ?

Ce deuxième mode doit à la fois être conforme à nos hypothèses théoriques (nécessité d’engager les élèves dans des activités de modélisation, nécessité de construire des liens entre les deux mondes et nécessité de proposer des tâches épistémiques variées), mais il doit également tenir compte des difficultés repérées dans la phase 1 de notre recherche.

Aussi, nous avons d’abord souhaité que les élèves puissent sélectionner les éléments pertinents pour modéliser la situation et la problématique. Ainsi, l’entrée dans le mode 2 permet de sélectionner une source lumineuse pour le Soleil, une sphère pour la Terre et un axe pour l’axe de rotation de la Terre. Toutefois, de manière à éviter toutes confusions entre le monde réel et le modèle construit, la Terre est initialement représentée par une boule blanche sur laquelle il est ensuite possible d’implémenter les continents et le Soleil est représenté de deux manières différentes (boule lumineuse ou rayons parallèles). L’axe de rotation est, par défaut, placé perpendiculairement sur le plan de l’écliptique; les élèves ont ensuite la possibilité de choisir de faire varier à l’aide d’un curseur l’inclinaison de l’axe de rotation de la Terre. Ces choix, ainsi que le mode de vue sélectionné, peuvent être modifiés à tout moment dans le mode 2. En effet, les élèves ont la possibilité de visualiser la Terre sur son orbite autour du Soleil (figure 4a), ou de zoomer sur le Système Terre-Soleil (figure 4b)

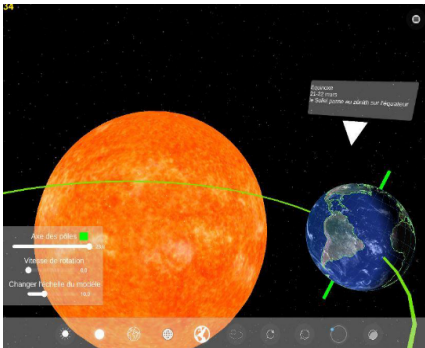


Figure 4a · La Terre sur son orbite

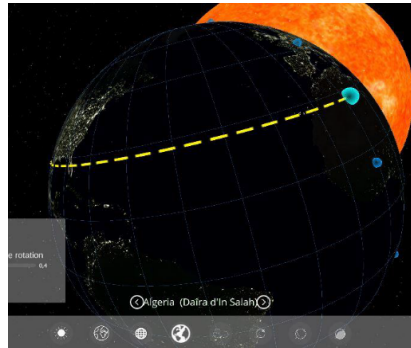
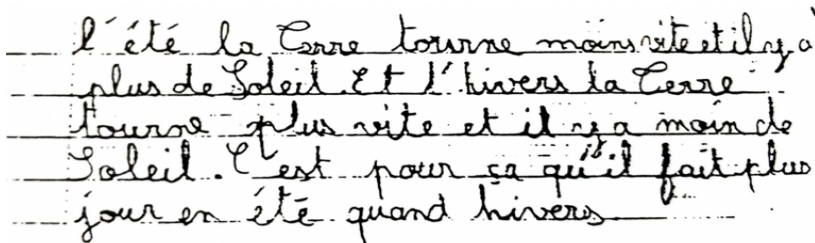


Figure 4b · Système Terre-Soleil dans le monde 2

Une fois les éléments du modèle sélectionnés, nous avons choisi de focaliser la réflexion des élèves sur les deux variables révélées comme les

plus importantes lors de notre étude préalable : la vitesse de rotation de la Terre et l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre.

En effet, l'analyse réalisée lors de la phase 1 montre qu'une hypothèse couramment avancée par les élèves pour expliquer la variation de la durée de la journée est la variation de la vitesse de rotation de la Terre (figure 5).



l'été la Terre tourne moins vite et il y a plus de Soleil et l'hivers la Terre tourne plus vite et il y a moins de Soleil. C'est pour ça qu'il fait plus jour en été quand hivers

Figure 5 • Exemple d'hypothèse, d'un élève, liée à la variation de la vitesse de rotation de la Terre

Aussi de manière à la prendre en compte, nous avons souhaité laisser à la charge des élèves le réglage de la vitesse de rotation de la Terre dans le modèle élaboré. L'objectif est de pouvoir amener les élèves à se questionner sur le rapport entre durée de la journée et de la nuit en fonction de la vitesse de rotation de la Terre. Cette phase de déconstruction des conceptions initiales des élèves doit permettre de montrer que la variation de la vitesse de rotation de la Terre au cours de l'année ne peut expliquer les observations réalisées au mode 1. Le recours à l'interface numérique présente alors une plus-value pour déstabiliser ce type de conception. En effet, la manipulation de matériel tangible ne permet pas de mettre en lien vitesse de rotation et durée du jour solaire, contrairement à l'interface.

Même si l'hypothèse de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre est plus rarement spontanément élaborée par les élèves, l'analyse *a priori* des connaissances visées révèle que cet élément est central. De plus, l'analyse des données de la phase 1 montre que les connaissances visées sont systématiquement construites lors de manipulations de matériels tangibles (balles et lampe). En effet, ce qui est déterminant dans l'interprétation des phénomènes étudiés est la mise en lien de la surface éclairée avec la durée de la journée. Il est donc indispensable que les élèves parviennent d'une part à identifier la surface éclairée sur la balle comme étant la journée et d'autre part à comparer la longueur du trajet parcouru par un point sur cette surface avec la durée de la journée. Autrement dit, il

s'agit de comprendre que plus la longueur de l'arc de cercle parcourue dans la surface éclairée est grande plus la durée de la journée est importante.

Habituellement, avec le matériel tangible, les élèves tracent sur la balle les arcs de cercle (les tracés sont peu précis). Certains élèves ont alors des difficultés à estimer la longueur de l'arc dans la partie éclairée et celle de l'arc dans la partie non éclairée. Aussi, il leur est couramment proposé d'utiliser des ficelles (à superposer sur les arcs tracés) pour comparer les longueurs. De grandes difficultés ont été constatées, et les erreurs de manipulation génèrent souvent des erreurs d'interprétation.

C'est pourquoi, nous avons souhaité que les élèves puissent comparer les longueurs des trajets pour des points situés sur l'un des 6 lieux étudiés dans le mode 1 avec la durée de la journée et de la nuit en fonction de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre et ce pour les dates significatives liées au changement de saisons (figure 6).

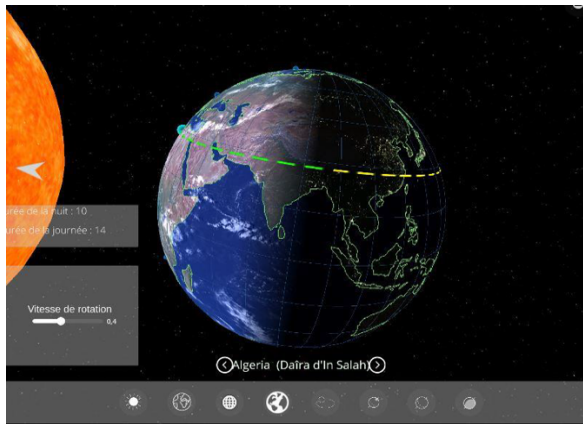


Figure 6 • Comparaison des longueurs d'arc pour trouver des durées

Dans ce mode, les élèves seront donc amenés à mettre en œuvre différentes tâches épistémiques (différentes de celles du mode 1) et à faire des liens entre les deux mondes, comme en rend compte la figure 7.

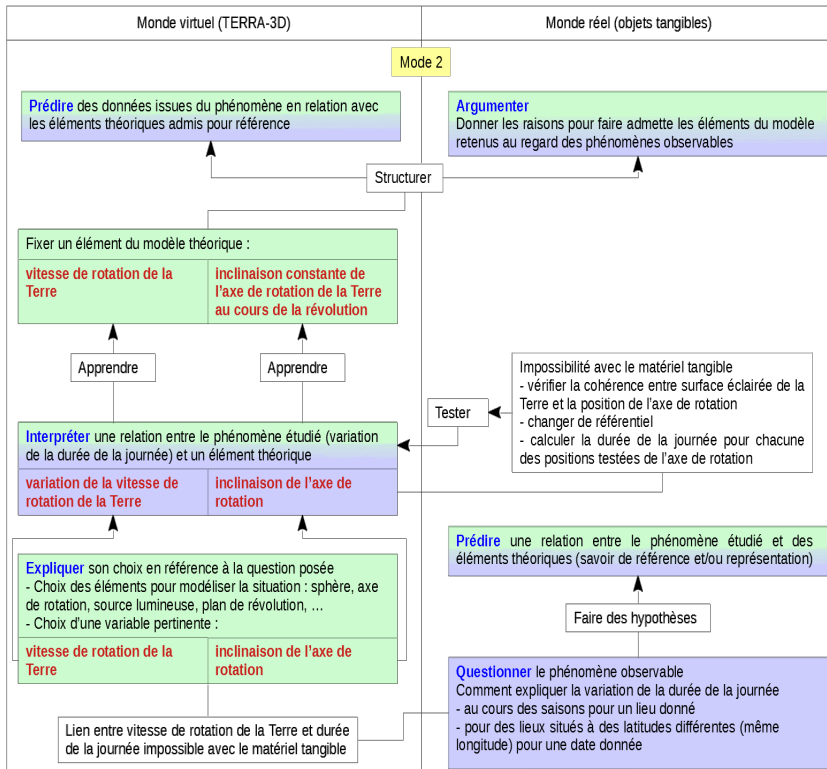


Figure 7 · Tâches épistémiques et mondes sollicités lors de l'utilisation du mode 2

6.4. Présentation et justification du mode 3

À l'issue du mode 2, certains éléments de connaissances auront été construits par les élèves lors de la mise à l'épreuve du modèle élaboré : nécessités d'une vitesse de rotation de la Terre constante et d'une inclinaison constante de l'axe de rotation de la Terre pour observer une variation de la durée de la journée dans les contextes d'observation proposés dans le mode 1. Nous utilisons le terme de nécessité au sens de Orange (2012) : le mode 2 permet aux élèves « d'explorer et de délimiter le champ des possibles et de repérer ainsi les conditions de possibilité des solutions, ce que nous appelons nécessité ». Le mode 3 doit permettre à l'enseignant de discuter avec les élèves de la part d'apodicticité des savoirs ainsi construits. Pour cela, le mode 3 permet de manipuler le modèle, de revenir sur l'argumentation élaborée dans le mode 2, mais aussi d'utiliser le modèle ainsi construit pour prévoir et/ou vérifier de nouvelles

observations possiblement réalisables dans le mode 1. Le mode 3 servira de point d'appui pour élaborer un texte permettant la structuration des savoirs (figure 8).

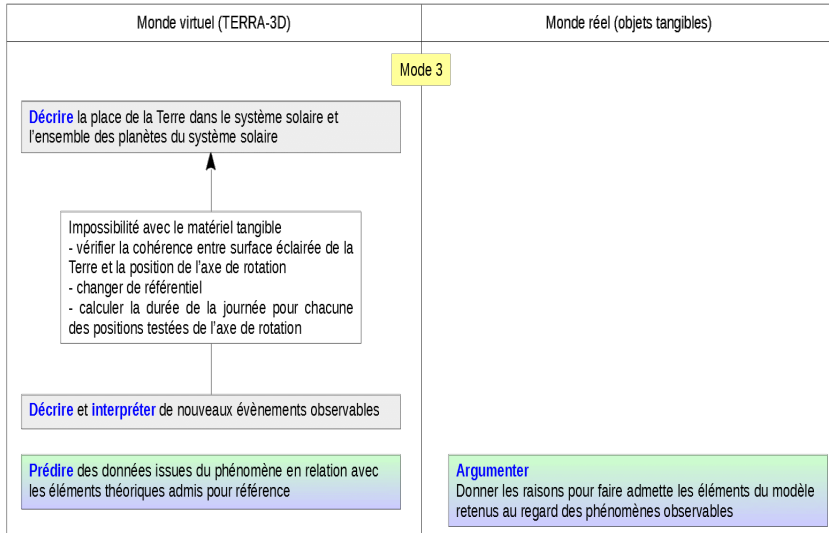


Figure 8 • Tâches épistémiques et mondes sollicités lors de l'utilisation du mode 3

7. Discussion et perspectives de recherche

Le prototype obtenu, TERRA-3D, est conforme aux hypothèses théoriques retenues comme contraintes lors de l'élaboration du cahier des charges. En effet, toutes les tâches épistémiques identifiées comme spécifiques à l'enseignement et l'apprentissage de la physique par Buty *et al.* (2004) sont présentes dans les étapes proposées pour l'utilisation de TERRA-3D. De plus, les activités proposées impliquent à plusieurs reprises la mise en lien d'éléments issus du monde des objets et des événements avec des éléments issus du monde des modèles et théories (figure 9). Enfin, en appui avec le travail mené avec les enseignants partenaires, les difficultés connues des élèves ont pu être prises en charge.

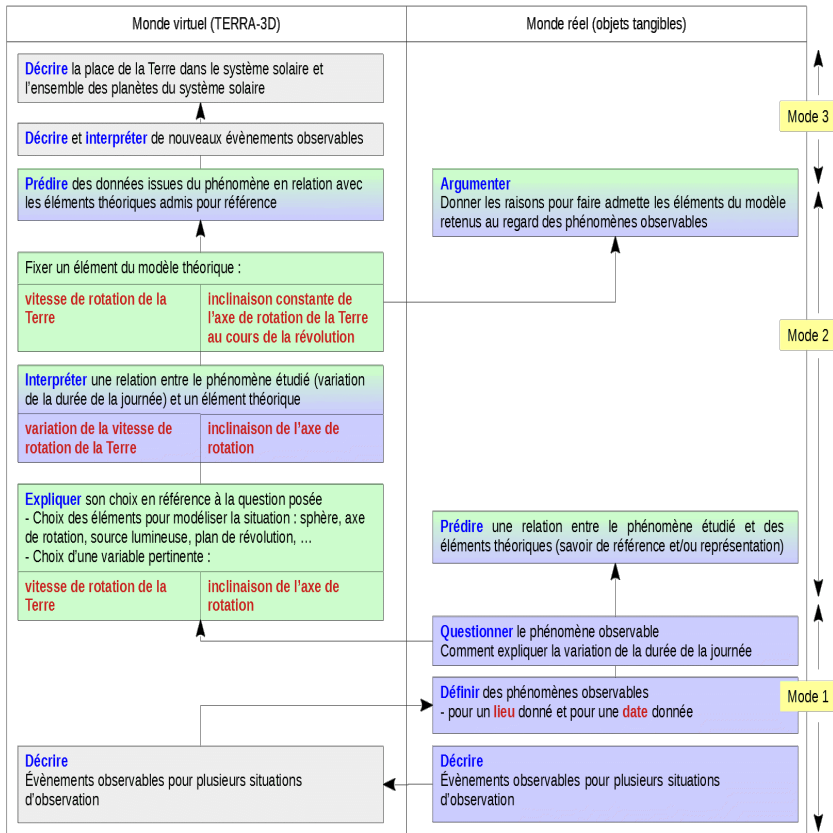


Figure 9 • Synthèse des tâches épistémiques et des mondes sollicités lors de l'utilisation de TERRA-3D

Toutefois, même si TERRA-3D semble conforme à nos attentes, il nous faut désormais tester son utilisabilité puis son efficacité au regard des apprentissages en contexte scolaire. Pour cela, nous avons d'abord prévu des tests d'utilisabilité sur un échantillon représentatif des utilisateurs visés de manière à vérifier que l'artefact possède les affordances permettant aux élèves de manipuler selon les modalités prévues. Puis, dans un second temps, nous avons prévu d'organiser des observations *in situ*, d'analyser les activités cognitives des élèves d'un point de vue des activités de modélisation lors de l'utilisation du prototype. Nous procéderons également à des tests post-séquence relatifs à la fois aux connaissances visées, mais aussi à la connaissance de la démarche scientifique. Ces tests seront réalisés avec des groupes ayant utilisés TERRA-3D et avec des groupes ayant seulement eu recours à du matériel tangible classique. Enfin,

des entretiens avec les enseignants et des *focus groups* nous permettront de recueillir le sentiment des utilisateurs. Ces premiers résultats nous permettront d'envisager des modifications dans l'application et ainsi d'engager le cycle itératif de tests conformément aux principes méthodologiques de la DBR sur lesquels nous avons fondé notre étude. De plus, une fois ces premiers tests réalisés, nous élaborerons un livret pédagogique destiné à accompagner les enseignants lors de l'utilisation de TERRA-3D. Enfin, ce projet pourra se prolonger à travers des améliorations du dispositif et des extensions permettant d'aborder d'autres notions scientifiques des programmes de cycle 3.

RÉFÉRENCES

Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. Dans P. Delattre et M. Thellier (dir.), *Élaboration et justification des modèles. Application en biologie* (vol. 1, p. 3-19). Maloine S.A.

Beaufils, D. et Richoux, D. (2013). Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique. *Didaskalia*, 23, 9-38.

Bécu-Robinault, K. (2002). Modelling activities of students during a traditional labwork. Dans D. Psillos et H. Niedderer (dir.), *Teaching and learning in the science laboratory* (vol. 16, p. 51-64). Kluwer Academic.

Bécu-Robinault, K. (2004). Raisonnements des élèves et sciences physiques. Dans E. Gentaz et P. Dessus (dir.), *Comprendre les apprentissages: sciences cognitives et éducation* (p. 117-132). Dunod.

Bécu-Robinault, K. (2018). *Analyse des interactions en classe de physique. Le geste, la parole et l'écrit*. L'Harmattan.

Boivin-Delpieu, G. (2020). Comparaison de situations d'enseignement et d'étude des mouvements de la Terre avec des objets tangibles et des objets numériques au cycle 3. *Éducation et didactique*, 14(3), 9-38.

Boivin-Delpieu, G. (2015). *Conditions d'avancée des savoirs et déterminants de l'action professorale: étude de cas sur l'enseignement des phases de la Lune au cycle 3* [thèse de doctorat, Université Lyon1, France]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01334591>

Burkhardt, H. et Schoenfeld, A. H. (2003). Improving educational research: Toward a more useful, more influential, and better-funded enterprise. *Educational Researcher*, 32(9), 3-14.

Buty, C., Tiberghien, A. et Le Maréchal, J.-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26, 579-604.

Chevallard, Y. (1998). Qu'est-ce que prouver? Opiner, asserter, professer en didactique. Dans C. Hadji et J. Baillé (dir.), *Recherche et éducation. Vers une « nouvelle alliance »*. *La démarche de preuve en 10 questions* (p. 29-43). De Boeck Université.

Collectif Didactique pour enseigner (2019). *Didactique pour enseigner*. Presses universitaires de Rennes.

Design-Based Research Collective (2003). Design-based-research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.

EDUSCOL. (2016). *Les mouvements de la Terre sur elle-même et autour du Soleil* (eduscol.education.fr/ressources-2016). Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Planete_Terre_/55/9/RA16_C3_SCT_E_4_sequence_mvt_terre_V2_618559.pdf

Fjeld, M. et Voegtli, B. (2002). Augmented chemistry: An interactive educational workbench. Dans *Proceedings of the IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (p. 259-260). IEEE.

Fleck, S. et Simon, G. (2013). *An augmented reality environment for astronomy learning in elementary grades: An Exploratory Study*. Dans *Actes de la 25^e Conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM'13)* (p. 14-22). ACM.

Gerard, F. M. et Roegiers, X. (2011). Currículo e Avaliação: ligações que nunca serão suficientemente fortes. Dans M. Alves et S. De Ketele (dir.), *Do Currículo à avaliação, da avaliação ao currículo* (p. 143-158). Porto Editora.

IGEN (2017). *Repenser la forme scolaire à l'heure du numérique. Vers de nouvelles manières d'apprendre et enseigner* (Rapport IGEN 2017-056, mai 2017). Ministère de l'éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports. <https://www.education.gouv.fr/repenser-la-forme-scolaire-l-heure-du-numerique-vers-de-nouvelles-manieres-d-apprendre-et-d-2678>

Johsua, S. et Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations: le débat scientifique dans la classe*. Peter Lang.

Kikas, E. (2006). The effect of verbal and visuo-spatial abilities on the development of knowledge of the Earth. *Research in Science-Éducation*, 36, 269-283.

Laforcade, P. (2001). *Étude et conception des mécanismes d'agents détecteurs, évaluateurs et qualificateurs des erreurs d'un apprenant dans un EIAH* [mémoire de DEA inédit]. Université Paul-Sabatier, Toulouse, France.

Lyet, P. (2011). Traduction, transaction sociale et tiers intermédiaire dans le processus de collaboration de chercheurs et de praticiens dans le cadre de recherches-actions. *Pensée plurielle*, 3(28), 49-67.

Marlot, C. et Morge, L. (2016). *L'investigation scientifique et technologique: Comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire*. Presses universitaires de Rennes.

Martinand, J. L. (1985). Sur la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences physiques. *Aster*, 1, 141-154.

MEN (2015). Programmes d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4). *Bulletin officiel spécial n° 11 du 26 novembre 2015*. Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des sports. https://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?pid_bo=33400

Merle, H. (2002). Histoire des sciences et sphéricité de la Terre: compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, 20, 115-136

Morge, L. et Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de la notion de modèle : quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ? *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 52, 149-175.

Newton, I. (1687). *Philosophiæ naturalis principia mathematica (Mathematical principles of natural philosophy)*. Regalis Societas Londini.

Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand: A lesson and a challenge for cognitive modeling. Dans P. Reiman et H. Spada (dir.), *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning science* (p. 37-62). Pergamon Elsevier Science.

Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. De Boeck.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Wallberg-Henriksson, H. et Hemmo, V. (2007). *L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*. Union européenne, Direction générale de la recherche, Science, économie et société.

Roy, P. et Hasni, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *McGill Journal of Education*, 492, 349-371.

Séjourné, A. et Tiberghien, A. (2001). *Conception d'un hypermédia en physique et étude des activités des élèves du point de vue de l'apprentissage* [communication]. V^e colloque « Hypermédiats et apprentissages », Grenoble, France.

Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir, éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. De Boeck.

Shelton, B. E. et Hedley, N. R. (2002). *Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students* [communication]. The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit, Darmstadt, Germany.

Stedmon, A. W., Hill, K., Kalawsky, R. S. et Cook, C. A. (1999). Old theories, new technologies: Comprehension and retention issues in augmented reality systems [communication]. Dans *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES '99)* (p. 97-125). Human Factors & Ergonomics Society.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instructions*, 4, 71-87.

Tiberghien, A., Buty, C., Le Maréchal J. F. (2005). Physics teaching sequences and students' learning. Dans D. Koliopoulos et A. Vavouraki (dir.), *Science and technology education at cross-roads: meeting the challenges of the 21st century, Proceedings of the second Conference of EDIFE and the Second IOSTE Symposium in Southern Europe* (p. 25-55). Association for science education (EDIFE).

Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N. et Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. Dans G. Sensevy et A. Mercier (dir.), *Agir ensemble* (p. 93-122). Presses universitaires de Rennes.

Walliser, B. (1977). *Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes*. Seuil.



Une approche dirigée par les modèles pour la conception de générateurs de scénarios adaptés dans un jeu d'apprentissage

► **Pierre LAFORCADE, Youness LAGHOUAOUTA** (LIUM, Le Mans Université)

■ **RÉSUMÉ** • Notre intérêt se porte sur les jeux sérieux d'apprentissage nécessitant des mécanismes d'adaptation au profil de l'apprenant. Nous proposons de traiter plus précisément la génération de scénarios adaptés selon une approche dirigée par les modèles. Celle-ci permet de guider la conception de la génération. Ceci est réalisé par la spécification de différents modèles selon plusieurs perspectives et dimensions. Nous avons appliqué la proposition dans le contexte du projet *Escape it!* dont le jeu sérieux a pour but de soutenir le renforcement et la généralisation de compétences en performances visuelles pour des enfants autistes.

■ **MOTS-CLÉS** • jeux sérieux, adaptation, scénario d'apprentissage, ingénierie dirigée par les modèles.

■ **ABSTRACT** • *In the context of learning games, we tackle the need of generating adapted learning scenarios according to elements such as the learners' progress and skills. We propose a model-driven design approach that guides designers and domain experts to specify, as models and metamodels, what has to be generated, what contextualizes the generation, and what information is required from the learning game. We apply it in the "Escape it!" context, an "escape-room" game for helping children with autism to learn visual performance skills.*

■ **KEYWORDS** • *serious game, adaptation, learning scenarios, Model Driven Engineering.*

1. Introduction

Les jeux d'apprentissage (*learning games*) sont des jeux sérieux visant à favoriser un apprentissage spécifique (Marfisi-Schottman, 2019 ; Cohard, 2015). Ils connaissent un intérêt accru depuis plusieurs décennies (Vermeulen *et al.*, 2018). Pour que ces jeux d'apprentissage atteignent leur double objectif de plaisir et d'apprentissage, il est crucial d'assurer leur utilisabilité et leur acceptation par les apprenants visés. Pour cela, plusieurs principes peuvent être pris en compte : a/suivre des principes généraux et de bonnes pratiques de conception de jeu (*game design*), ainsi que de bonnes pratiques d'apprentissage (*learning design*) ; b/ utiliser des Interactions Homme-Machine appropriées et attractives ; c/ permettre une adaptation dynamique afin d'individualiser et de contextualiser l'expérience de jeu pour chaque joueur-apprenant (Hocine *et al.*, 2011). Les jeux d'apprentissage requièrent ainsi des mécanismes d'adaptation afin que tout ou partie du dispositif, éléments du jeu et/ou de l'apprentissage, puissent être adaptés dynamiquement au contexte (profil d'apprenant, profil de joueur, etc.).

Dans cet article, nous nous intéressons plus particulièrement à la génération dynamique de *scénarios de jeu* adaptés aux compétences de l'apprenant et aux connaissances sur la composition des niveaux de jeu. La génération d'éléments adaptés permet à la fois de réduire le coût de développement du jeu sérieux et de proposer une plus grande variété d'adaptations aux apprenants/joueurs. Ce que nous considérons comme *scénario de jeu* correspond à la spécification déclarative d'une session de jeu qui serait interprétable sans ambiguïté par le moteur du jeu : séquence ordonnée des éléments de jeu et de leurs caractéristiques. La réalisation d'une telle génération n'est pas triviale et pose de nombreux problèmes de conception. La spécification de cette génération est centrale. Elle incombe généralement à une équipe pluridisciplinaire impliquant les experts du domaine d'apprentissage visé et/ou des experts de la pédagogie pour les publics cibles spécifiques, et des informaticiens. La question de recherche sous-jacente concerne alors l'aide à l'identification et à la description de la génération en termes de caractéristiques et de fonctionnement.

L'objectif général de notre recherche est d'identifier un tel cadre de conception générique qui permettrait de soutenir la conception de générateurs de scénarios adaptés. Pour cela notre travail de recherche s'inscrit dans le cadre du projet *Escape it!* qui sera présenté dans la section 2. La conduite de nos recherches s'appuie sur une approche itérative centrée

utilisateur, pour identifier les besoins d'adaptation, et orientée vers l'utilisation des théories et pratiques de la métamodélisation pour la spécification des éléments impliqués dans le générateur ; la méthode de recherche sera également détaillée en section 2. Nous présenterons ensuite brièvement des travaux connexes abordant la génération de scénarios adaptés et leur conception en section 3. Ensuite, nous présenterons en section 4 notre proposition d'approche de spécification pour la génération de scénarios adaptés. L'application de cette approche au contexte du projet *Escape it!* fera l'objet de la section 5. La section 6 analysera et discutera la proposition afin d'identifier la valeur ajoutée, mais aussi les limites de notre contribution. Enfin, la section 7 conclura cet article.

2. Contexte : le projet *Escape it!*

L'objectif du projet est de concevoir et de développer un *Learning game* sur mobile (tablettes 10 pouces) pour des enfants autistes. Le jeu doit pouvoir aider au renforcement et à la généralisation de l'apprentissage des compétences de type performances visuelles, définies dans le guide d'évaluation ABLLS-R (Burton et McEachin, 1999) : appariement objet-objet ou objet-image, tri, catégorisation, sériation, etc. Le projet implique des experts et des parents d'enfants autistes.

2.1. Vue générale du jeu d'apprentissage

Le jeu exploite un *gameplay* minimaliste inspiré des jeux de type *escape-room* : le joueur doit trouver dans une pièce (lieu de vie) des objets, parfois cachés, et les déplacer vers des zones « solutions », de manière à débloquer l'ouverture de la porte et ainsi accéder au niveau suivant. L'orientation *escape-room* a été proposée par les experts en TSA (troubles du spectre autistique) impliqués dans le projet. Ils ont considéré que ce jeu pourrait être un intermédiaire intéressant pour aider à généraliser les apprentissages entre les sessions thérapeutiques structurées et la généralisation dans l'environnement naturel de l'enfant tel que préconisé par le modèle d'intervention PRT (*Pivotal Response Training*) (Koegel *et al.*, 2016). Le jeu sera utilisé par l'enfant, sous la supervision d'un adulte.

La conception du jeu a été réalisée sur la base des bonnes pratiques recensées (Ern, 2014 ; Zakari *et al.*, 2014) et à l'aide des recommandations et exigences exprimées par les experts autisme lors des séances de conception participative. Ces séances ne distinguaient pas la conception générale du jeu de la conception plus spécifique de l'adaptation à réaliser. L'objectif général était de réifier dans le jeu les éléments clés des approches

comportementales et cognitives qui ont fait leurs preuves dans la prise en charge de l'autisme (Burton et McEachin, 1999): utilisation du renforcement, contrôle des antécédents, guidances et estompages de guidances, façonnement et chaînage. Les interactions seront orientées tactiles et la résolution des scènes nécessitera la compétence du glisser-déposer comme prérequis pour l'enfant.

Voici quelques éléments clés issus de ces séances de conception participative :

- des compétences cibles : un sous-ensemble des compétences de performances visuelles définies par Partington (2010) (celles adaptables au *gameplay* tactile du jeu sur tablette); par exemple, appairer un objet à un objet identique, trier des objets similaires, catégoriser des objets selon leurs fonctions communes, etc. ;

- des durées de sessions de jeu variables : le jeu proposera des sessions de 3 à 5 niveaux, au choix de l'enfant ;

- des niveaux prenant place dans des scènes représentant des lieux de vie faisant sens pour l'enfant, groupées en thèmes (par exemple les scènes *chambre* et *cuisine* du thème *maison*);

- des niveaux de difficulté : la difficulté correspondra à la configuration des éléments de la scène (objets visibles ou cachés, éléments de solution, positions dans la scène, etc.). Elle doit être fixée, pour chaque compétence cible, en corrélation avec la progression des apprentissages de l'enfant. Trois réussites successives visant une même compétence (durant une ou plusieurs sessions de jeu) entraîneront l'augmentation de la difficulté pour cette compétence ;

- des scènes variées pour encourager la généralisation des compétences; il est nécessaire que le jeu propose, pour une même compétence et un même niveau de difficulté, une grande variété de configurations de scènes de jeu. Cela permettra d'éviter la mémorisation de la résolution du problème.

2.2. Vers un besoin de génération automatique

La figure 1 illustre un exemple de scène de jeu (capture d'écran du jeu final) pour la compétence B3 (appariement d'objets identiques) et pour la difficulté « élémentaire ». Deux jouets « dinosaures » doivent être trouvés et placés dans le meuble, à côté de l'exemplaire rangé. Les objets utilisés pour la résolution ainsi que l'emplacement de ces objets peuvent varier : il s'agit d'un exemple de configuration générée pour une scène. Pour d'autres situations ou d'autres niveaux de difficulté, différents décors additionnels

peuvent être ajoutés dans la scène, apportant ainsi de nouvelles positions possibles (pour placer les objets) ou des cachettes interactives (placard qui s’ouvre). Des objets inutiles pour la résolution peuvent également être présents.



Figure 1 • Un exemple de configuration des éléments pour la scène *BEDROOM-2*, le niveau de difficulté *ELEMENTARY*, et la compétence *B3*

Dans ce contexte, un scénario de jeu correspond à une séquence ordonnée de scènes dont la configuration des différents éléments est précisée (objets, décors, cachettes, emplacements, etc.). Ces informations (les scènes et leurs configurations) doivent être adaptées au profil de l'enfant (progression dans l'arbre des compétences, niveau de difficulté pour chaque compétence, etc.) et doivent prendre en compte les informations du jeu (l'arbre des compétences, relations entre niveau de difficulté et agencement des scènes, objets disponibles pour chaque scène, etc.). Cette adaptation est nécessaire avant chaque session de jeu. Elle doit être réalisée juste après le choix par l'enfant du nombre de scènes que doit proposer la session de jeu (entre 3 et 5).

Il serait trop coûteux de développer toutes les combinaisons possibles de configurations pour les scènes. La réalisation du jeu d'apprentissage requiert une génération dynamique de sessions de jeu adaptées au profil de chaque enfant.

2.3. Méthode de recherche

La conception d'un tel générateur (conception au sens du génie logiciel, c.-à-d. de l'analyse des besoins à l'utilisation en passant par l'implémentation informatique) est complexe et pose de nombreux problèmes de spécification et de mise en œuvre. Quels éléments doivent être identifiés et explicités? Comment doivent-ils être spécifiés? Comment peuvent-ils être concrètement exploités pour réaliser la mise en œuvre effective de l'adaptation? Pour autant, l'identification et l'explicitation des éléments constituant la génération adaptée et son fonctionnement sont primordiales. Elle incombe généralement à une équipe pluridisciplinaire impliquant, en plus des informaticiens, les experts du domaine d'apprentissage visé et/ou des experts de la pédagogie pour les publics cibles spécifiques. La question de recherche que nous avons souhaité aborder est celle-ci : quels moyens existent, ou sont à proposer, pour soutenir l'identification et la description du fonctionnement de la génération adaptée? Nous émettons la double hypothèse qu'il est possible de proposer un cadre général pouvant guider cette activité d'identification et de spécification, et qu'une approche incluant une spécification par métamodélisation offrirait une valeur ajoutée pour la conception du générateur (l'un des composants logiciels du jeu d'apprentissage).

Notre objectif général de recherche est d'identifier un tel cadre de conception générique d'aide à la conception de générateurs de scénarios adaptés. Pour cela, nous avons suivi une approche itérative centrée utilisateurs dans le cadre du jeu *Escape it!* pour identifier à la fois des informations pour la conception générale du jeu et des informations sur les caractéristiques et le fonctionnement attendu du composant réalisant la génération adaptative. En parallèle, nous avons réalisé un état de l'art des approches existantes (décrit dans la prochaine section). Certains de ces travaux nous ont orientés vers la conception d'une approche de modélisation dédiée à capturer et spécifier les éléments en jeu dans la génération adaptée. En relation avec notre hypothèse, nous avons orienté la spécification des modèles vers les théories et pratiques de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles. L'identification de cette approche et son application au cas d'étude ont été concomitantes. Toutefois, les sections suivantes présenteront séparément la généralisation de l'approche (la contribution) et son application dans le contexte du cas d'étude (comme illustration de l'application de l'approche).

3. État de l'art

3.1. Adaptation dans les EIAH et jeux sérieux

Bien qu'il n'y ait pas de définition officielle, l'adaptation dans les EIAH correspond à la définition générale suivante pour l'adaptation : action/activité d'ajuster tout ou partie d'un système en vue de le rendre adapté à quelque chose. Dans un système EIAH, la finalité est généralement d'adapter les décisions pédagogiques aux compétences et besoins particuliers de chaque apprenant. Il s'agit d'automatiser tout ou partie de l'adaptation des décisions pédagogiques en se basant notamment sur le traitement algorithmique des données récoltées dans le parcours des apprenants. L'adaptation peut être réalisée, pour tout ou partie, par un acteur humain ou bien par la machine.

On peut trouver dans la littérature des mentions à des adaptations pour des types spécifiques d'EIAH, comme les hypermédias (Brusilovsky, 1998) ou les jeux d'apprentissage (Peirce *et al.*, 2008). Ces systèmes promettent de prendre en considération le profil de l'apprenant (ses connaissances, ses préférences, ses aptitudes, ses émotions, sa motivation, etc.) dans la construction d'un parcours pédagogique unique et adapté.

La finalité de l'adaptation en EIAH est d'optimiser l'apprentissage pour chaque apprenant en tenant compte de l'hétérogénéité des profils. Toutefois les adaptations considérées peuvent avoir des objectifs plus précis (Mandin *et al.*, 2015) : personnalisation de l'apprentissage (l'apprenant est dans une situation adaptée à ses capacités, attentes et besoins), individualisation de l'apprentissage (l'apprenant est en autonomie face à ce qu'il apprend), réaction aux comportements ou aux questions de l'apprenant pour le conseiller, expliquer, justifier, ou lui proposer des moyens de remédiation, etc.

Dans le contexte des jeux sérieux, comme de manière générale, l'adaptation peut être caractérisée par sa cible (ce qui sera adapté), par la source (à quoi sera adaptée la cible), ainsi que par les techniques employées (Vandewaetere *et al.*, 2011). Des états de l'art ont été réalisés pour caractériser ces différents éléments (Zniber et Cauvet, 2005 ; Hocine *et al.*, 2011). Pour Hocine *et al.* (2011), les différentes cibles ont trait à la présentation, au contrôle ou au contenu tandis que les sources concernent majoritairement le modèle utilisateur et les paramètres systèmes. Les modèles d'adaptation peuvent être implicites (dans le code) ou explicites (machines à états, règles logiques, etc.).

3.2. Génération de scénarios adaptés

L'adaptation de scénarios dans les jeux sérieux est souvent abordée en considérant des scénarios de jeux narratifs et interactifs (Delmas *et al.*, 2007 ; Janssens *et al.*, 2014 ; Sina *et al.*, 2014). La notion de scénarios est variable selon les contextes. Si l'on considère la définition proposée par Lopes et Bidarra (2011), « *the global progression within a game level, its initial settings and the logical flow of events and actions that follow* », nous pouvons remarquer que le scénario à générer dans le projet *Escape it!* correspond à cette notion de configuration initiale des différents niveaux de la session de jeu, mais sans les flux d'événements ou d'actions, car le jeu visé n'implique pas d'événement scripté.

La réalisation de l'adaptation peut être réalisée de différentes manières (Hocine *et al.*, 2011). Il peut s'agir d'adaptation par génération, d'adaptation par sélection d'éléments, d'adaptation par extension ou par ajout à des éléments existants, etc. Souvent, le terme de « génération d'éléments adaptés » désigne plus largement le fait que les éléments cibles seront adaptés « par construction » et non par adaptation d'éléments sources non adaptés.

Dans (Bielikova *et al.*, 2008), les auteurs ont proposé un système de génération de contenu contrôlé par des enseignants. Ces derniers sélectionnent des objets de jeu précréés, leur ajoutent du nouveau contenu d'apprentissage et les associent entre eux. Dans notre contexte, l'implication des experts n'est pas nécessaire pour chaque adaptation. En revanche la connaissance des objets manipulables disponibles pour chaque scène, de leurs relations vis-à-vis des compétences cibles possibles, de leurs relations avec les objets-solutions, semble être une base nécessaire pour générer des configurations de scènes appropriées. De telles connaissances devraient être spécifiées de manière à les rendre exploitables par l'activité d'adaptation tout en facilitant l'implication des experts dans leur expression.

Plus proche de nos préoccupations, les travaux présentés par Sehaba et Hussaan (2013, 2014) proposent une architecture générique pour personnaliser un scénario de jeu sérieux en fonction des compétences de l'apprenant et de ses traces d'interaction (Hussaan et Sehaba, 2016). L'architecture a été proposée dans l'objectif de développer un jeu sérieux pour l'évaluation et la rééducation cognitives. Cette architecture est organisée en trois couches : concepts du domaine, ressources pédagogiques et ressources du jeu sérieux. En complément, leur proposition consiste à générer trois scénarios successifs (conceptuel, pédagogique et de jeu) en relation avec les couches précédentes. Pour la mise en œuvre concrète, des

techniques de représentation et de manipulation d'ontologies sont utilisées. Toutefois peu d'informations sur la spécification des règles de génération sont données, car l'intérêt des auteurs était davantage porté sur l'analyse des traces d'interactions de l'apprenant et la mise à jour de son profil.

Hormis ces rares propositions, peu de travaux de recherche s'intéressent à l'aide à la conception de générateurs de scénarios, que ce soit en proposant des approches, des architectures ou un cadre de travail.

3.3. Synthèse

L'adaptation et la génération ont déjà été historiquement traitées pour de nombreux autres dispositifs que les jeux d'apprentissage (comme les tuteurs intelligents, les hypermédias, etc.). Pour autant, la plupart des travaux portent davantage sur la modélisation des informations sources (explicitation, spécification, exploitation, etc.), incluant le profil de l'apprenant, que sur la modélisation de la cible et de son obtention. Ces travaux, loin d'être négligeables, nécessitent des activités spécifiques pour l'identification et la mise à jour des modèles (collecte de traces, analyse des traces, modification des ressources ou des profils, etc.).

La modélisation de la cible et son obtention ne sont abordées que sous l'angle purement informatique, au sens de la mise en œuvre effective de l'adaptation. Les activités d'explicitation, de spécification, d'exploitation des éléments cibles et des moyens d'adaptation (règles par exemple) sont rarement abordées ou bien seulement au niveau *ad hoc* du contexte de l'EIAH considéré dans les travaux. Pour autant ces éléments ne peuvent pas être modélisés sans relation avec les modèles sources.

4. Positionnement et proposition

4.1. Positionnement

Notre souhait, au travers du projet *Escape it!*, est d'étudier la possibilité de faciliter la conception d'un générateur de scénarios adaptés. Ceci nécessite donc de prendre en compte l'explicitation, la spécification, et l'exploitation des éléments interdépendants des cibles, des sources et des moyens d'adaptation. Le projet offre un contexte spécifique pour étudier ces éléments et faire une proposition, si possible, générique. Dans ce but nous avons caractérisé finement l'adaptation considérée dans le projet dans le tableau 1.

Tableau 1 · Caractérisation de l'adaptation visée dans le contexte du projet

Contexte général	
Public apprenant	Enfants autistes
Discipline ou domaine didactique	Compétences visuelles (référentiel ABLLS-R)
Connaissances ou compétences visées	Tri, catégorisation, sériation, assortiment...
Type d'apprentissage	Renforcement et généralisation des acquis
Approche pédagogique	Comportementalisme
Méthode pédagogique	Méthodes comportementales ABA
Dispositif informatique	Jeu sérieux d'apprentissage
Contexte d'usage du dispositif	
Institutionnel	Aucun
Spatial	N'importe où
Temporel	N'importe quand
Matériel	Tablette tactile 10"
Objectif de l'adaptation (pour quoi)	
Intention de l'adaptation	Pour l'individualisation de l'apprentissage
Moment de l'adaptation (quand)	
Déclencheur	À l'initiative de l'apprenant lorsqu'il choisit le nombre de scènes de jeu que devra proposer le scénario de la session de jeu
Instant	Pendant l'utilisation du dispositif
Cible(s) de l'adaptation (quoi)	
Catégorie de l'adaptation	Contenu au sens de Hocine <i>et al.</i> (2011)
Élément adapté	Scénario d'activités (au sens séquence linéaire des configurations initiales des différentes scènes de jeu à résoudre)
Source(s) de l'adaptation (en fonction de quoi)	
Sources en relation avec l'apprenant	Compétences, progression dans les niveaux de difficulté, nombre de niveaux souhaité
Sources en relation avec l'environnement	Aucune
Éléments participant à la réalisation de l'adaptation (avec l'aide de quoi)	
Éléments de connaissance	Informations sur les thèmes et les scènes du jeu, composants d'une scène de jeu, informations sur les compétences visuelles
Focus sur l'adaptation (comment)	
Niveau d'automatisation de l'adaptation	Tout automatique
Moment du <i>feed-back</i> du résultat à l'apprenant	Dès que l'adaptation est réalisée
Approche générale de réalisation de l'adaptation	Génération <i>ex nihilo</i>

En prémisses d'une solution générique d'aide à la conception, nous proposons de distinguer les sources de l'adaptation des autres éléments participant à la réalisation de l'adaptation. Ils participent tous aux éléments que l'adaptation doit prendre en compte, mais les « sources » correspondent à ce que l'adaptation doit prendre en compte en premier lieu pour que la cible soit adaptée (la cible est adaptée *en fonction de* la source); les autres éléments, que nous proposons d'appeler « éléments de connaissance », sont utilisés par l'adaptation sans la diriger (la cible est adaptée *en fonction de* la source et *à l'aide des* éléments de connaissance). On peut considérer que lorsque l'activité d'adaptation est mise en œuvre, les sources varient régulièrement tandis que les éléments de connaissance restent globalement inchangés. Ces éléments correspondent à ce que la littérature appelle parfois « modèle du domaine », « modèle du jeu », « modèle de la tâche », « modèles des ressources », « modèles d'apprentissage », etc. (Zniber et Cauvet, 2005).

Nous proposons également de distinguer deux types de sources, bien que cette distinction n'aboutisse pas à des exemples concrets dans le cas d'étude du projet *Escape it!* : les éléments en relation avec l'apprenant et les autres éléments contextuels en relation avec l'environnement de l'apprenant.

Notre objectif est de proposer un cadre de modélisation qui facilite la conception de générateurs de scénarios. Les concepteurs pourront se doter de ce cadre afin d'identifier les éléments nécessaires et de les spécifier de manière interreliée. Le cadre proposé garantira également que cette modélisation informatique générique (c.-à-d. sans choix technique spécifique pour réaliser l'adaptation) sera exploitable pour faciliter, voire permettre, la mise en œuvre effective de l'adaptation.

4.2. Cadre de référence pour les besoins de modélisation

L'ingénierie dirigée par les modèles (IDM) (Jézéquel *et al.*, 2012) est une forme d'ingénierie générative proposant une démarche par laquelle tout ou partie d'une application informatique est généré à partir de modèles. En contrepartie, ces modèles doivent être rendus explicites et suffisamment précis pour être interprétés ou transformés par des machines. Le processus de développement peut alors être considéré comme un ensemble de transformations de modèles prenant des modèles en entrée et produisant des modèles en sortie, jusqu'à obtention d'artefacts exécutables. Le métamodèle est alors l'entité concrétisant informatiquement le contexte de modélisation pour la conception et la manipulation des modèles. Il est l'abstraction du langage de

modélisation (syntaxe, grammaire et sémantique) des modèles. On considère alors que le modèle est conforme à son métamodèle.

L'IDM offre à la fois un cadre théorique (modèles, métamodèle, langages, transformation, composition, vérification de modèles, etc.), mais également des techniques et des outils matures (les écosystèmes exploitant les formalismes Ecore ou bien Epsilon par exemple) qui ont déjà été utilisés pour la conception de langages de scénarisation graphiques (Laforcade, 2010) ou pour l'implémentation de scénarios dans des LMS (Loiseau *et al.*, 2017). Le caractère semi-formel des modèles au sens IDM leur permet à la fois d'être manipulables par les acteurs impliqués (modèles pour concevoir - au sens large et non informatique), mais également d'être interprétés par la machine pour la réalisation de diverses tâches (modèles pour construire).

L'IDM permet de spécifier la description concrète du jeu, le profil de chaque apprenant, les éléments du jeu, etc. (les différentes « sources » et « éléments de connaissances ») en tant que modèles. La « cible » de l'adaptation (le scénario) est alors également un modèle, mais celui-ci n'est pas connu à l'avance : il est le modèle en sortie d'une « transformation de modèles » (Kurtev, 2005) dont les modèles précédents sont les modèles en entrée. Ces modèles en entrée nécessitent également d'être accompagnés de leurs métamodèles respectifs. Ces métamodèles capturent à un haut niveau d'abstraction les éléments, propriétés et relations qui permettent de spécifier les modèles. Ils correspondent ainsi à décrire par exemple les composantes du profil générique de tout apprenant ou à décrire la structure du scénario à produire.

L'IDM propose un cadre exploitable pour satisfaire les besoins de spécification à l'aide des modèles et métamodèles et les besoins de mise en œuvre à travers l'ensemble d'outils et approches traitant de la transformation de modèles. Pour autant, la métamodélisation est une activité subjective qui requiert des compétences spécifiques. Elle ne propose pas de guidage pour aider à identifier les « bons » éléments de l'adaptation. Il faut donc une proposition répondant à ce besoin.

4.3. Une approche 3 x 3 x 2 de spécification pour la génération de scénarios adaptés

Nous proposons une approche qui permet d'appréhender la conception de la génération de scénarios adaptés (Laforcade et Laghouaouta, 2018). Elle s'appuie sur 3 perspectives incrémentales pour le scénario à générer, 3 dimensions de spécification des éléments sources et de connaissances du domaine, et 2 niveaux d'abstraction (modèle et métamodèle) (figure 2).

Les trois perspectives permettent de décomposer le problème de la conception de la génération en différentes étapes itératives et incrémentales, chacune appréhendant un point de vue spécifique, mais complémentaire sur la cible de l'adaptation, c.-à-d. le scénario adapté à générer. Ces perspectives sont inspirées de la proposition de Sehaba et Hussaan (2014).

- **Objectifs du scénario** : sélection ordonnée d'objectifs d'apprentissage (compétences ou connaissances selon le contexte), parmi ceux disponibles, en fonction de leur pertinence avec le contexte de la génération. Dans le projet *Escape it!*, cette perspective permettra de sélectionner les compétences visuelles concernées pour chacun des différents niveaux de la session de jeu, sur la base des compétences abordées, de leurs relations avec le profil de l'apprenant et en fonction de la progression concrète de l'utilisateur concerné.

- **Structure du scénario** : sélection ordonnée des exercices d'apprentissage ou des composants, à gros-grain, de jeu et d'apprentissage, en fonction des objectifs d'apprentissage fixés dans la perspective précédente. Dans *Escape it!*, cela correspond, entre autres, au choix des « thèmes » et des « scènes de jeu ».

- **Caractéristiques du scénario** : sélection des éléments additionnels qui participeront à préciser finement chaque élément structurel de la perspective précédente, en fonction également des objectifs fixés. Dans *Escape it!*, cela concerne la spécification détaillée de chaque scène de jeu, c.-à-d. toutes les informations requises (décors, objets, emplacements, etc.) par le moteur du jeu pour configurer une situation à résoudre.

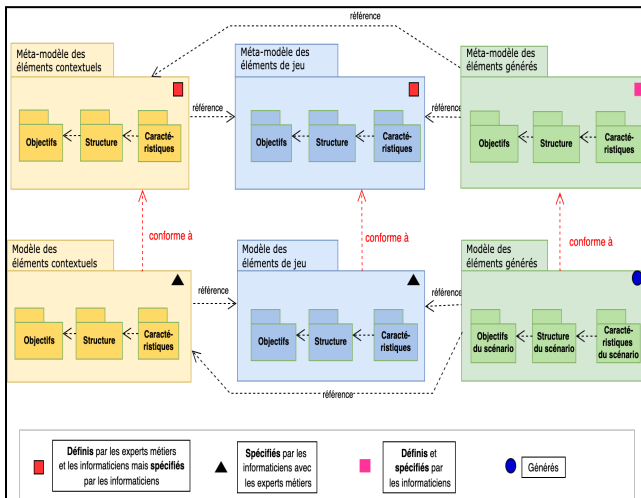


Figure 2 · Approche de conception 3 x 3 x 2 proposée

Le scénario final généré sera alors composé de ces trois perspectives complémentaires (voir les relations visibles entre les 3 scénarios dans la figure 2, coin inférieur droit). Pour chacune de ces perspectives, itérativement en commençant par la perspective « objectifs », nous proposons de considérer trois dimensions complémentaires pour décrire les différents éléments en jeu dans la génération :

- les **éléments à générer**, c.-à-d. la cible, le scénario adapté ;
- les **éléments contextuels**, c.-à-d. ce qui est spécifique au contexte de la génération, décrit comme « sources » de l'adaptation dans le tableau 1 ; par exemple, une partie du profil de l'apprenant et des informations contextuelles à la demande de génération de scénario ;
- les **éléments décrivant le jeu d'apprentissage**, c.-à-d. ce qui est spécifique au jeu d'apprentissage et qui est donc commun et partagé par toutes les générations qui seront réalisées (décrit comme « éléments de connaissance » de l'adaptation dans le tableau 1) ; par exemple, les objectifs concrets, les activités ou exercices disponibles, les éléments de configuration, etc.

Enfin, pour chaque perspective et dimension nous proposons de décrire les éléments en jeu selon deux niveaux d'abstraction :

- le **niveau métamodèle** capture les éléments, propriétés et relations qui définissent les concepts et contraintes pour assurer la conformité des modèles ;
- le **niveau modèle** spécifie les informations concrètes nécessaires au générateur.

Il est important de noter que le modèle correspondant au scénario à générer n'est pas spécifié avant la génération, mais est bien *produit* en sortie de la génération. En revanche, le modèle du contexte (incluant une partie du profil de l'utilisateur) concerné par la génération est un modèle en *entrée* fourni au générateur. Les modèles décrivant le jeu d'apprentissage sont aussi des modèles en *entrée*. Le générateur exploite ces modèles du jeu pour l'ensemble des générations réalisées alors que le modèle du contexte peut varier.

La proposition est illustrée par la figure 2. Les relations de conformité entre modèles et métamodèles sont représentées, ainsi que les relations de référence entre les modèles et les métamodèles. On peut remarquer l'importance des modèles et des métamodèles de description du jeu d'apprentissage qui ont un rôle central dans la conception, car ils sont référencés par les autres modèles et métamodèles.

Le générateur prendra en compte tous ces éléments pour réaliser concrètement la génération (figure 3). Le modèle du contexte lui sera fourni par le jeu d'apprentissage et sera différent entre deux appels au générateur tandis que le modèle du jeu et les 3 métamodèles seront fixes et déjà connus du générateur. Ce dernier chargera les modèles et les manipulera, ainsi que les métamodèles, afin de produire le modèle du scénario. Ce dernier sera retourné au jeu d'apprentissage.

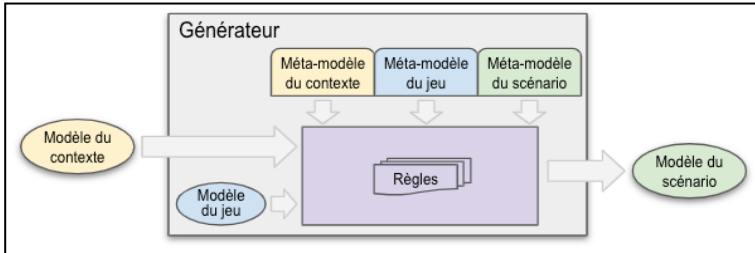


Figure 3 · Vue fonctionnelle du générateur

4.4. Un peu de méthode complémentaire

Ce cadre de spécification exige explicitement que soient considérées les perspectives dans l'ordre *Objectifs* > *Structure* > *Caractéristiques*. Il ne contraint pas en revanche l'ordre dans lequel les 3 dimensions doivent être appréhendées même s'il semble *a priori* raisonnable de proposer de spécifier en premier lieu le métamodèle du scénario à générer et la partie du métamodèle des éléments du jeu qu'il nécessite, pour ensuite spécifier le métamodèle des éléments de contexte et la partie du métamodèle des éléments du jeu associée. Ceci permet en effet de garantir que le métamodèle des éléments de jeu ne décrit que ce qui est nécessaire pour la spécification des autres métamodèles. De manière similaire, s'intéresser à spécifier uniquement les éléments du métamodèle de contexte utiles dans les décisions de génération du scénario cible réduit le risque de spécifier des informations qui ne seront pas exploitées par la suite.

Aussi, il est intéressant de préciser que la spécification ne concerne pas seulement les métamodèles, mais peut également concerner la spécification du modèle des éléments de jeu. En effet, les informations qu'il capture sont également facilement identifiables et explicites ; elles sont identiques pour l'ensemble des adaptations à réaliser, car indépendantes des sources contextuelles. En ce qui concerne les modèles de contexte, il est toutefois possible d'en spécifier autant que de cas souhaités pour tester la génération (ils peuvent être considérés comme des « jeux de données »).

4.5. Validation de la proposition

La contribution est une approche de conception d'un générateur de scénarios adaptés dans un jeu sérieux. Elle se focalise sur la spécification de modèles et métamodèles pour guider la conception et faciliter la mise en œuvre du générateur. Comme il ne s'agit pas encore d'une méthode d'aide à la conception bien définie, il convient dans un premier temps d'appliquer l'approche pour vérifier qu'elle produit effectivement des modèles pertinents et utiles pour guider la conception. La prochaine section y est consacrée. Bien que la mise en œuvre effective du générateur puisse être réalisée informatiquement de diverses manières, nous présenterons également dans le contexte du projet *Escape it!* comment les modèles produits ont été exploités pour faciliter cette mise en œuvre et ainsi étudier la pertinence et l'utilité de l'orientation IDM pour la spécification des modèles.

5. Application au projet *Escape it!*

Cette section présente le résultat de l'application de l'approche 3 x 3 x 2 pour la spécification de la génération envisagée dans le contexte du projet *Escape it!*. Les prochaines sous-sections correspondent aux trois perspectives de l'approche. Pour chacune, nous présentons tout d'abord la description textuelle des éléments à considérer, à commencer par les éléments à générer qui dirigent l'analyse. Toutes ces informations sont issues des séances de conception collaborative que nous avons eues avec les experts autisme du projet. Il est important de noter que les exemples de modèles de scénario adaptés sont obtenus par génération grâce au composant logiciel dédié, le générateur, dont la mise en œuvre est abordée dans la section 5.4.

5.1. Perspective « Objectifs »

5.1.1. Explicitation des éléments

Le tableau 2 synthétise la description des éléments en jeu par dimension pour la perspective des objectifs. Il est intéressant de noter que l'expression des trois dimensions permet également de relever des règles de génération et d'adaptation. Ces règles ne peuvent pas être capturées par les trois dimensions, car elles ne décrivent pas les données en entrée et en sortie de la génération, mais la *manière* dont celle-ci devra fonctionner.

Tableau 2 · Éléments en jeu pour la perspective des objectifs

Éléments à générer	<ul style="list-style-type: none"> - les N compétences (ordonnées) à viser par chacun des N niveaux de la session de jeu - le niveau de difficulté pour chacune de ces compétences
Éléments descriptifs	<ul style="list-style-type: none"> - l'arbre des compétences visuelles, par lien de prérequis - les 5 niveaux de difficulté (débutant, élémentaire, intermédiaire, avancé, expert)
Éléments contextuels	<ul style="list-style-type: none"> - nombre de niveaux à générer N (choisi par l'apprenant, entre 3 et 5) - les compétences qui concernent l'enfant (certaines sont peut-être à exclure) - pour chaque compétence concernée : niveau de difficulté actuel et progression dans la difficulté courante
Règles de génération et d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> - le <u>scénario</u> doit avoir autant de <u>compétences visées</u> que le <u>nombre de niveaux souhaité</u> par l'apprenant - chaque <u>compétence visée</u> doit correspondre à une compétence, <u>en cours d'acquisition</u>, pour l'apprenant, dont les compétences de <u>prérequis</u> sont au moins au <u>niveau de difficulté intermédiaire</u> - si possible, les <u>compétences visées</u> doivent être toutes différentes - le niveau de difficulté de chaque compétence sélectionnée est identique à celui du profil

5.1.2. Spécification des métamodèles

Les informations collectées pour les trois dimensions peuvent alors être spécifiées (le plus formellement possible, au sens informatique du terme, c.-à-d. avec le moins d'ambiguïté sémantique pour un futur traitement machine). Le métamodèle peut être considéré comme la représentation de la structure des modèles et des éléments composant ces modèles. Il permet la manipulation machine des modèles qui lui seront conformes.

La figure 4 est une représentation graphique des trois métamodèles correspondant aux 3 dimensions de la perspective des objectifs du scénario. Pour les éléments à générer (à droite), l'*ObjectiveScenario* est composé de plusieurs *TargetedSkill* (concrètement le modèle/scénario en aura autant que la valeur de *nbLevels*). Chaque *TargetedSkill* référence une compétence *BxSkill* et précise le niveau de difficulté (propriété *difficultyLevel*). Les éléments de description du jeu d'apprentissage (au centre) pour cette perspective sont les compétences *BxSkill* et leurs relations *prerequisite* pour préciser l'éventuelle compétence parent d'une

autre compétence. Enfin, les éléments de contexte (à gauche) décrivent le *Profile* d'apprentissage de l'enfant comme composé de plusieurs *Skill2Consider* référençant chacun une des compétences décrites et précisant ainsi pour chacun le niveau actuel de difficulté (*currentLevel*) et le statut en cours d'acquisition ou acquis de cette compétence (*currentProgress*). Le *Profile* précise également le nombre de niveaux *nbLevels* à générer (information obtenue dans l'environnement de la demande de génération).

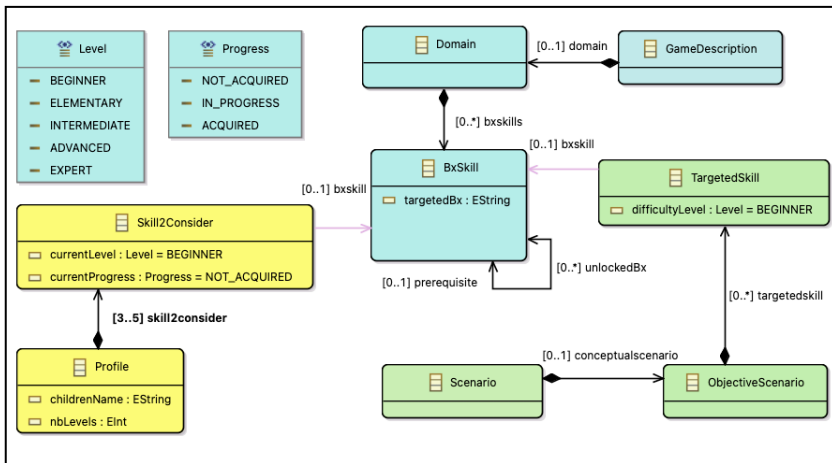


Figure 4 • Représentation graphique des 3 métamodèles correspondant aux 3 dimensions pour la perspective des objectifs

Les différentes couleurs permettent de repérer les 3 dimensions. Chacune a un élément racine qui sera exploité pour l'élaboration des modèles. Les relations entre métamodèles correspondent aux références simples (c.-à-d. pas de composition) entre deux éléments de deux métamodèles différents (colorées en mauve). Comme l'indiquait le schéma (figure 1), le métamodèle décrivant les éléments du jeu d'apprentissage est central, car il est référencé par les deux autres métamodèles (les deux autres dimensions).

5.1.3. Modélisation du contexte et des éléments du jeu

La figure 5 montre partiellement les modèles en entrée pour le générateur : la description du jeu (au centre) et un modèle de contexte (à gauche). Ces deux modèles ont été réalisés à l'aide d'un éditeur arborescent qui assure par construction la conformité des modèles à leur métamodèle

d'origine. On peut observer dans cet exemple que le jeu décrit 7 compétences (**B3, B4, B8, B9, B13, B19, B25**) dont **B8**, qui correspond au tri entre deux catégories d'objets similaires selon Partington (2010), a **B3** pour prérequis et est l'un des prérequis de **B13** (visibles dans la zone *Properties*). Le contexte correspond ici au profil d'un enfant **Tom** qui souhaite **4** niveaux. Il est concerné par les 7 compétences, avec **B3** et **B9** acquis (non visible dans la figure), tandis que **B4** (qui dépend de **B3**) est au niveau de difficulté élémentaire et les autres compétences (**B8, B13** et **B19**) sont au niveau débutant.

Le modèle situé à droite dans la figure 5 est un exemple de scénario adapté qui est obtenu après génération (d'autres générations avec les mêmes modèles en entrée pourraient donner d'autres scénarios possibles). Pour cette génération, le scénario pour la perspective « objectifs » propose 4 compétences cibles ordonnées : **B4** (avec la difficulté **intermédiaire**), **B9** (**élémentaire**), **B8** (**débutant**), **B8** (**débutant**). Cela est cohérent avec les règles de génération de la table 2 : seules les compétences B4-B8 (dépendantes de B3 qui est acquis) et B9 (dépendante de B4 à niveau intermédiaire) sont éligibles. Les 3 compétences ont été ensuite choisies dans un certain ordre, puis le hasard a permis de sélectionner à nouveau B8 pour le dernier niveau.

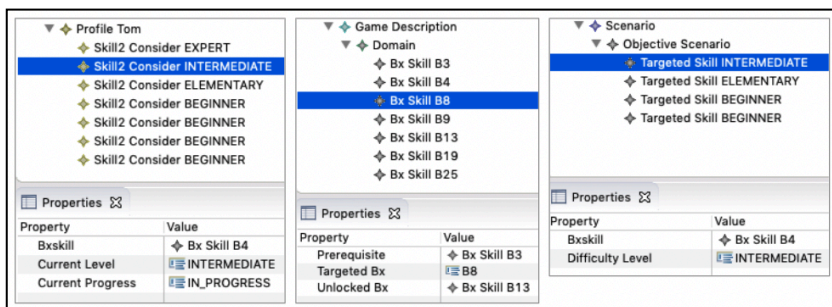


Figure 5 • Exemples de 2 modèles en entrée (un modèle de contexte, à gauche, la description du jeu, au centre) et d'un modèle en sortie (un scénario adapté généré, à droite)

5.2. Perspective « Structure »

5.2.1. Explicitation des éléments

La table 3 synthétise la description des éléments en jeu par dimension pour la perspective « structure ».

Tableau 3 · Éléments en jeu pour la perspective des objectifs

Éléments à générer	- les N <u>scènes</u> (ordonnées) correspondant aux N <u>niveaux</u> souhaités
Éléments descriptifs	- la liste des scènes disponibles par thèmes - la liste des thèmes disponibles pour chaque scène, les compétences qu'elle peut aborder
Éléments contextuels	- nombre de niveaux à générer N (choisi par l'apprenant, entre 3 et 5)
Règles de génération et d'adaptation	- le <u>scénario</u> doit avoir autant de scènes que le <u>nombre de niveaux</u> souhaité par l'apprenant - chaque <u>compétence choisie</u> (perspective « objectif » précédente) est associée à une <u>scène choisie</u> à condition que celle-ci permette d'aborder cette compétence - si possible, les <u>scènes choisies</u> doivent être toutes différentes, mais appartenir au même <u>thème</u> , <ul style="list-style-type: none"> • sinon, si possible, que les <u>scènes choisies</u> soient toutes différentes pour un nombre de <u>thèmes</u> différents minimal, • sinon, si possible, que les <u>scènes choisies</u> consécutives soient différentes

5.2.2. Spécification des métamodèles

La figure 6 est une représentation graphique des trois métamodèles correspondant aux 3 dimensions de la perspective « structure » du scénario. Les métaéléments intervenant déjà dans la perspective « objectif » précédente sont colorés dans une teinte différente.

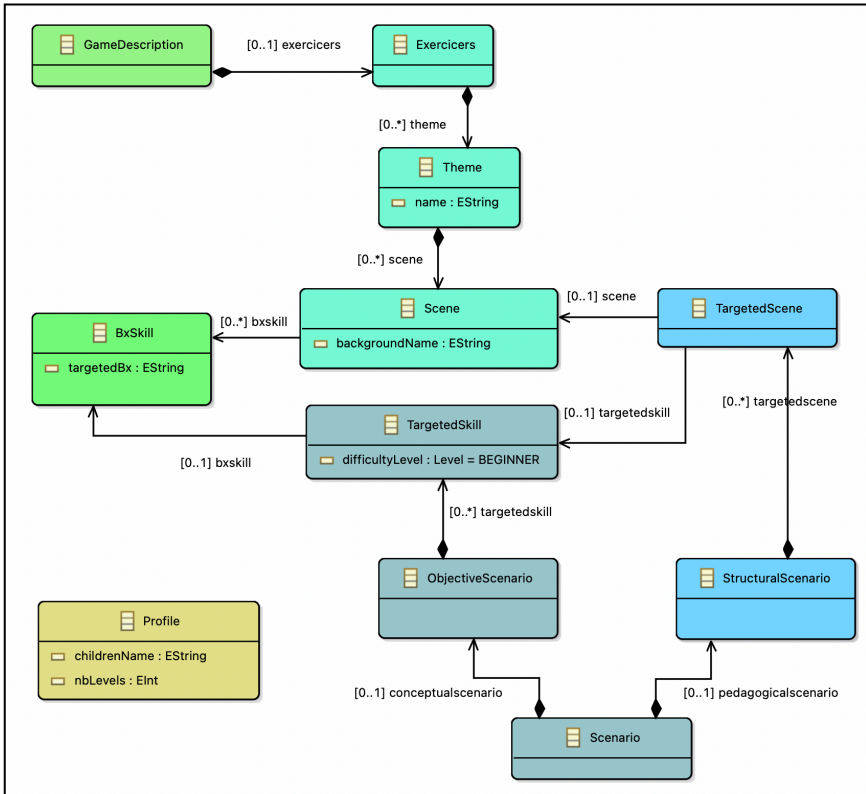


Figure 6 • Représentation graphique des 3 métamodèles correspondant aux 3 dimensions pour la perspective structurelle

Pour les éléments à générer (à droite), le *StructuralScenario* est composé de plusieurs *TargetedScene* référençant chacune une *Scene* et un *TargetedSkill* généré lors de la perspective précédente. Les éléments de description du jeu d'apprentissage (en haut) sont les différents *Theme*, puis les *Scene* qui les composent. Chaque *Scene* a une relation *bxskill* pour préciser les compétences qu'elle traitera. Enfin, les éléments de contexte (à gauche) réutilisent le *Profile* d'apprentissage précisant le nombre de niveaux *nbLevels* à générer.

5.2.3. Modélisation du contexte et des éléments du jeu

La figure 7 illustre un exemple de spécification des thèmes et des scènes du jeu (à gauche) et un exemple de scénario produit pour lequel les scènes ont été choisies (à droite). On peut observer dans cet exemple que le thème **House** propose 5 scènes dont **Garage** qui est utilisable pour 5 des 7 compétences (**B3, B4, B8, B9, B25**).

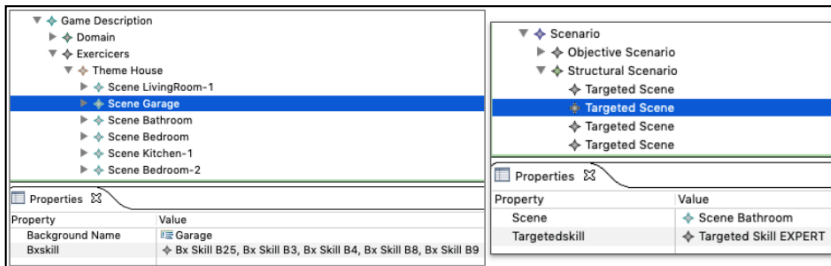


Figure 7 · Exemples pour la perspective « structure » d'un modèle de description du jeu (à gauche) et d'un modèle de scénario généré (à droite)

La structure générée pour le scénario propose 4 *TargetedScene* dont la seconde spécifie une référence vers la scène *Bathroom* et est en relation avec le second *TargetedSkill* déjà généré pour le scénario « objectif » (figure 4).

5.3. Perspective « Caractéristiques »

La perspective « Caractéristiques » entraîne la spécification de très nombreux éléments, afin de préciser le positionnement des objets présents dans la scène de jeu.

5.3.1. Explicitation des éléments

La table 4 décrit les éléments en jeu par dimension pour la perspective « caractéristiques ». La description est volontairement moins détaillée que pour les perspectives précédentes pour compenser le nombre élevé d'informations.

Tableau 4 · Éléments en jeu pour la perspective des caractéristiques

Éléments à générer	<p>Pour chaque scène générée précédemment, les différents éléments présents dans la scène :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les éléments de décors additionnels - les cachettes (et leur position) - le ou les éléments de solution (et leur position) et leurs éventuelles « sous-zones » sur lesquelles les objets pourront être placés - les éléments déplaçables (éléments pour résoudre le défi + des éventuels objets inutiles à la résolution) et leur position (certains seront déjà bien placés initialement sur les éventuelles sous-zones de l'objet solution et les autres seront placés parmi les emplacements initiaux dans la scène + les emplacements supplémentaires en relation avec les décors additionnels présents + les emplacements supplémentaires en relation avec les cachettes présentes).
Éléments descriptifs	<p>Pour chaque scène, la liste :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des catégories d'objets disponibles et les objets qui les composent - des objets additionnels inutiles pour les résolutions - des positions disponibles pour placer les objets déplaçables - des éléments de décors additionnels et des positions supplémentaires qu'ils ajoutent - des cachettes et des positions de cachettes qu'ils ajoutent - des éléments de solution et pour chacune : leurs positions possibles, les compétences qu'elles visent, les éventuelles « sous-zones » qu'elles proposent, les catégories ou objets compatibles pour être placés sur cette solution.
Éléments contextuels	(rien pour cette perspective)
Règles de génération et d'adaptation	<p>Pour chaque couple (compétence, niveau de difficulté) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le nombre d'objets solutions potentiels (min., max.) - le nombre de décors additionnels (min., max.) - le nombre de cachettes (min., max.) - le nombre d'objets à placer sur les bonnes zones solutions (min., max.) - le nombre d'objets inutiles (min., max.)

5.3.2. Spécification des métamodèles

La figure 8 représente graphiquement les nouveaux éléments des métamodèles correspondant aux 3 dimensions de la perspective « caractéristiques » du scénario (la dimension « contexte » n'apporte aucun nouvel élément). Les nuances de bleu ou de vert dans la figure 8 permettent de distinguer les nouveaux éléments de ceux déjà identifiés dans les perspectives précédentes.

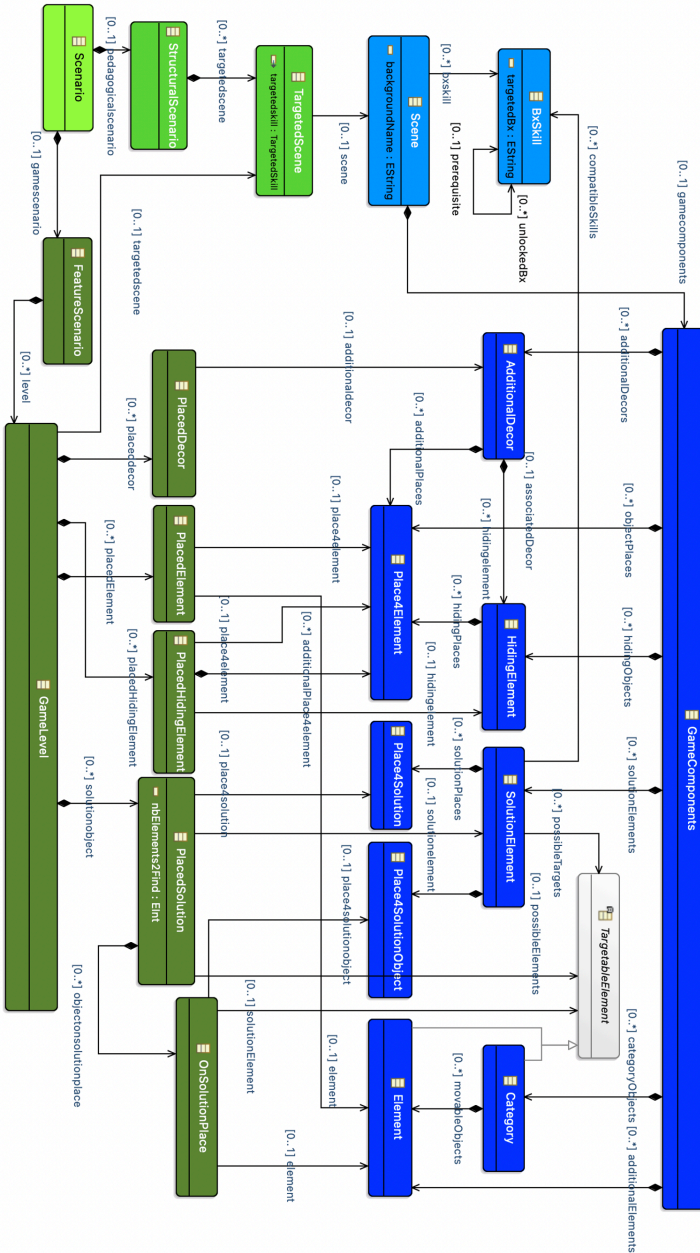


Figure 8 • Représentation graphique des métamodèles correspondant aux dimensions pour la perspective des caractéristiques

5.3.3. Modélisation du contexte et des éléments du jeu

La figure 9 illustre un exemple de spécification des composants de jeu pour la scène **Garage** (à gauche) et un exemple de scénario produit pour lequel les décors, les objets solutions, les éléments, etc. ont été choisis et positionnés pour chaque scène (à droite) par le générateur final. Dans l'exemple de gauche on peut observer la spécification d'un objet solution nommé **Box**, compatible avec la compétence **B3** et acceptant différentes variations de tournevis comme objets compatibles.

Les caractéristiques générées pour le scénario proposent 4 *GameLevel* référençant les 4 scènes déjà générées pour la perspective précédente. Chaque *GameLevel* est composé des différents éléments qui seront configurés pour initialiser le défi de chaque scène. Grâce au panneau des propriétés on peut remarquer que la deuxième scène utilisera l'objet solution nommé **Box**, qui sera positionné en **SolB3P** et acceptera 4 objets de type **comb2**.

Property	Value
Nb Elements2 Find	4
Place4solution	Place4 Solution SolB3P
Possible Elements	Element comb2
Solutionelement	Solution Element box

Figure 9 • Exemples pour la perspective « caractéristiques » de modèles de description du jeu (à gauche) et de modèle en sortie pour le scénario généré (à droite)

5.4. Développement du générateur

Les modèles et métamodèles obtenus en suivant notre approche de spécification peuvent être considérés comme des spécifications que l'informaticien doit suivre. Ils peuvent également permettre de guider la mise en œuvre informatique de la génération. Dans notre cas d'étude, nous avons souhaité exploiter l'interprétation machine possible de modèles et métamodèles réalisés dans l'écosystème d'*Eclipse Modeling Framework* (EMF) (Steinberg *et al.*, 2009). Ainsi, la génération de scénarios adaptés a été implémentée (code Java/EMF) sous une forme procédurale et objet : le modèle (scénario) est généré élément par élément à partir de l'élément racine en prenant en compte les règles de génération. Le *framework* EMF prend en charge la manipulation des modèles en entrée et en sortie (code Java généré à partir des métamodèles). Ainsi, la manipulation du modèle de contexte reçu par le générateur et du modèle de jeu (déjà présent dans le générateur conformément à la figure 3) est facilitée. Le développement du générateur peut donc se concentrer sur l'algorithme de génération exploitant les règles (en langage naturel) explicitées dans les tables 2, 3 et 4. Cet algorithme a été implémenté en Java.

Indépendamment du développement du jeu d'apprentissage, le générateur développé a pu être testé (phase de vérification et de validation logicielle) avec les experts afin de s'assurer que son comportement correspondait bien aux règles métier de génération. Des cas d'étude fictifs de profil d'enfant ont été spécifiés et utilisés pour générer plusieurs scénarios. Les scénarios générés ont alors été analysés (visuellement avec un éditeur de modèle) afin de juger la pertinence de ce qui était proposé. Il est important de préciser que, par construction, dans un écosystème IDM outillé, les modèles produits sont nécessairement conformes au métamodèle associé. Cela garantit que le scénario est correct syntaxiquement, mais pas sémantiquement. Pour cela il faut manuellement analyser son contenu et vérifier ainsi le bon codage des règles de génération. Il est pertinent de remarquer également que l'algorithme de génération est stochastique : le hasard est utilisé pour départager des choix non couverts par une règle métier. Cela signifie que le générateur ne produit pas forcément le même scénario en sortie pour un même modèle de contexte en entrée. Tous ces scénarios produits peuvent aussi faire l'objet d'analyses.

Ces étapes de validation logicielle aident à garantir que le générateur réalise correctement le comportement attendu. Lorsque le générateur est considéré valide, il peut alors à son tour servir à l'analyse et à la validation, ou à la réingénierie des règles métiers de génération. Il est important toutefois de signaler que cette validation itérative pourra nécessiter que le code du générateur soit modifié pour prendre en compte l'ajout, la suppression, ou la modification des règles.

5.5. Intégration et mise à l'essai du générateur

Lorsque le développement du jeu d'apprentissage *Escape it!* a été réalisé (avec le moteur de jeu *Unity*), le générateur a été intégré comme un composant logiciel externe déployé sur un serveur et accessible par le jeu via un service Web (voir capture d'écran au centre gauche de la figure 10). Cela permet de découpler le jeu du générateur, au cas où la génération (modèles et règles) nécessite des ajustements.

L'utilisation en situation écologique du jeu d'apprentissage final (figure 10), et donc de la génération, a pu être ensuite expérimentée.

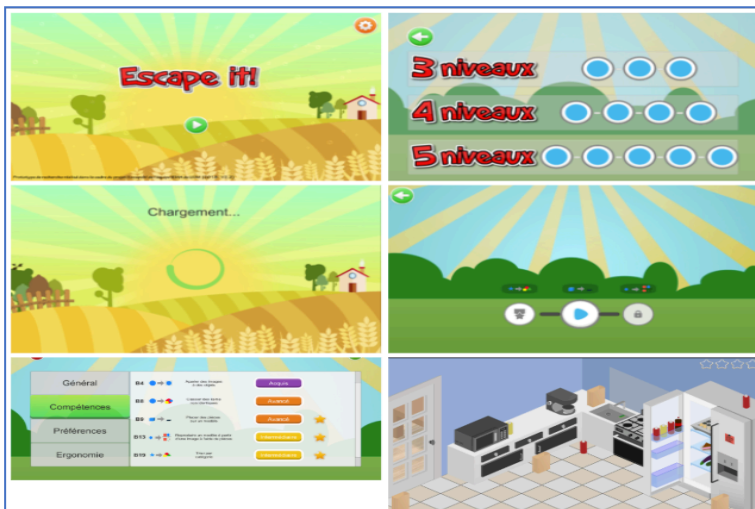


Figure 10 • Différentes captures d'écran du jeu final

La figure 10 présente différents écrans du jeu sérieux final dont (de gauche à droite et de haut en bas) l'écran titre, l'écran du choix du nombre de niveaux pour le scénario à générer, l'écran d'attente pendant les échanges avec le générateur, l'écran présentant la progression dans le

scénario (visible entre chaque scène), l'écran de configuration du profil montrant le niveau de difficulté atteint par compétence ainsi que la progression actuelle (étoiles) dans ces niveaux, et enfin l'écran d'une scène générée pour la compétence **B13** au niveau de difficulté *ADVANCED*.

Une ergothérapeute, membre des experts autisme impliqués dans le projet, a utilisé le jeu *Escape it!* lors de séances avec des enfants autistes. Ces expérimentations étaient informelles (non cadrées scientifiquement). Elles visaient différents objectifs : vérifier auprès d'enfants, supervisés par un de leurs parents, que le jeu final était utilisable (point de vue ergonomique) et utile (en relation avec l'apprentissage des compétences visuelles visées), et vérifier à l'usage si les scénarios générés étaient bien pertinents (par rapport à la progression des apprentissages) et conformes aux règles de génération implémentées. Concernant ce dernier point, ces retours d'usages n'ont pas révélé de situations où les scénarios proposés n'étaient pas bien adaptés selon les règles prévues.

6. Bilan et analyses des résultats

6.1. Analyse bilan de l'approche 3 x 3 x 2

L'approche 3 x 3 x 2 permet de guider l'identification (quels éléments prendre en compte ?) et la formalisation (comment les spécifier ?) des éléments impliqués dans la réalisation de la génération. Les 3 perspectives permettent d'appréhender la difficulté d'identification en la décomposant en étapes complémentaires. Les 3 dimensions et les 2 niveaux (modèles et métamodèles) permettent de capturer les éléments à générer, puis les éléments de contexte et les éléments de connaissances sur le jeu qui sont nécessaires à la génération. Il est à noter que le modèle de contexte n'inclut pas le profil apprenant complet, s'il existe pour d'autres besoins, mais bien uniquement la partie impliquée dans les règles de génération. Il en est de même pour le modèle des éléments du jeu.

Les modèles et métamodèles produits peuvent être utilisés comme spécifications pour guider la mise en œuvre. Ils peuvent également être exploités informatiquement pour participer à la mise en œuvre effective de l'adaptation par génération. Dans le contexte du projet *Escape it!* nous avons choisi de manipuler directement ces spécifications dans le code du générateur. Ce dernier a été réalisé selon un algorithme procédural implémentant les règles de génération qui avaient été explicitées par les experts.

Le retour d'expérience des sessions de conception collaboratives que nous avons eues avec les experts autisme du projet *Escape it!* a permis également de mettre en exergue la difficulté à distinguer les règles métier de la génération des autres éléments métier en relation avec la conception générale du jeu d'apprentissage (quels éléments tracer, quels *feed-back* pour le superviseur, quelles règles pour faire progresser les apprentissages et le profil utilisateur, etc.). L'approche 3 x 3 x 2 permet de faciliter cette distinction en guidant l'informaticien dans ces échanges avec les experts. Les experts métier ne sont pas pour autant des experts en génération : ils sont demandeurs de retours rapides pour vérifier les règles exprimées. Leurs propositions peuvent être non pertinentes, incomplètes, ambiguës. La réflexion ne suffit pas toujours à valider ou invalider certaines règles. Il est nécessaire de les mettre en œuvre pour analyser les scénarios produits par le générateur. L'approche 3 x 3 x 2 n'est donc pas seulement itérative au sens des 3 perspectives à considérer, mais parce que plusieurs itérations par perspective peuvent être nécessaires. À titre d'illustration, quelques exemples de modifications des règles sont listés dans le tableau suivant.

Tableau 5 • Exemples de modifications des règles de génération

<p>Règle supprimée</p>	<p>Règle initiale du 80/20 (80 % de compétences déjà maîtrisées + 20 % compétences en cours d'acquisition) sur le choix des compétences que devait aborder le scénario généré. Cette règle est généralement appliquée en accord avec l'approche A.B.A dans la conception de situation d'apprentissage pour personnes autistes. Cette règle était difficile à prendre en compte pour des scénarios générés composés de 3 à 5 niveaux (donc seulement 3 à 5 compétences). Il a été privilégié l'utilisation de 5 niveaux de difficulté et la règle des 3 succès consécutifs nécessaires (pour une même compétence) pour progresser dans les niveaux de difficulté.</p>
<p>Règle ayant émergé</p>	<p>Le choix des scènes de jeu : de préférence toutes différentes, mais d'un même thème (maison, école, etc.), sinon toutes différentes pour un nombre de thèmes différents minimum, sinon 2 scènes successives doivent au moins être différentes (quel que soit le thème)</p>
<p>Règle ayant été ajustée</p>	<p>Les nombres min. et max. des objets à trouver par compétence et par niveau de difficulté (ces valeurs contraignent la conception des scènes à proposer un nombre max suffisant d'objets pour que la règle soit toujours applicable).</p>

6.2. Valeur ajoutée et limites de l'approche

L'approche 3 x 3 x 2 proposée permet d'appréhender la conception et la mise en œuvre du générateur indépendamment de la conception et du développement du jeu d'apprentissage (découplage). Toutefois, l'intégration finale du générateur comme sous-système du jeu d'apprentissage final nécessite un recodage spécifique (selon les technologies utilisées) ou une approche intégrative (approche service web dans le cas d'*Escape it!*). Cette dernière approche permet de faire évoluer le générateur sans impacter le jeu tant que les formats des éléments de contexte (fournis dynamiquement par le jeu d'apprentissage) et du scénario à générer restent inchangés.

Bien que l'approche 3 x 3 x 2 favorise la décomposition du problème de la spécification de la génération en différentes étapes complémentaires (les 3 perspectives) et que les 3 dimensions guident également le concepteur pour spécifier les éléments pertinents, l'approche ne vise pas à aider l'explicitation de ces éléments pertinents. L'approche propose implicitement un cadre méthodique de spécification (voir 4.4), mais elle n'est pas destinée à guider la collaboration entre experts du domaine et informaticiens. Bien que les perspectives et les dimensions de spécification puissent être utilisées par les concepteurs informaticiens pour « guider » l'explicitation auprès des experts, cela n'est pas un objectif abordé par la proposition ; d'autres techniques et méthodes existantes, ou à proposer, peuvent traiter davantage de cette collecte des informations nécessaires à la spécification.

L'approche 3 x 3 x 2 est toutefois intéressante, car elle permet de cadrer le périmètre des éléments à considérer pour chaque dimension. Cela permet également de mettre en évidence les règles qui seront utiles à la génération du scénario adapté. Ainsi, il est plus aisé de rejeter les informations métiers qui ne relèvent pas de la génération, comme celles qui concernent davantage l'exécution du jeu (*runtime*) ou la mise à jour des éléments de contexte, comme le profil de l'apprenant. Ainsi, les informations régissant dans *Escape it!* la manière dont est réalisée la progression dans les niveaux de difficulté relève de la collecte et de la mise à jour du profil, mais ne sont pas nécessaires à la génération.

Les « règles de génération », complémentaires aux éléments spécifiés selon les trois dimensions proposées, ne sont actuellement pas prises en compte lors de la métamodélisation : elles ne sont pas spécifiées, mais directement mises en œuvre dans le code réalisant la génération. Il est

possible de vérifier la conformité des éléments spécifiés dans les métamodèles en réalisant des modèles conformes (modèle de contexte, modèle des connaissances du jeu, mais aussi des modèles de scénarios). Pour autant, les règles d'adaptation ne peuvent être testées et validées qu'en les implémentant et en exécutant le générateur sur des cas concrets.

6.3. Généricité et domaine de validité

L'approche 3 x 3 x 2 est issue du contexte spécifique des jeux d'apprentissage (ou jeux sérieux pédagogiques). Elle ne référence pas explicitement les modèles souvent spécifiquement identifiés par la littérature (modèle d'apprentissage, modèle d'apprenant, modèle de jeu, etc.). Pour autant, les informations de ces modèles qui participent réellement à la génération seront indirectement identifiés en considérant les 3 dimensions des éléments à générer, des éléments de contexte et des éléments de connaissances. L'approche est fondée sur le point de vue *fonctionnel* de la génération, considérée comme l'objet central de la recherche. Par exemple, l'approche 3 x 3 x 2 ne considère pas comme un prérequis nécessaire de spécifier le profil de l'apprenant, mais uniquement de considérer quels éléments de contexte, en relation avec, entre autres, le profil de l'apprenant, influencent la génération.

L'approche 3 x 3 x 2 peut donc convenir dans n'importe quel contexte où des éléments sont générés en fonction d'éléments de contexte et en utilisant des connaissances sur l'EIAH considéré, que celui-ci soit un jeu d'apprentissage ou un autre environnement informatisé d'apprentissage.

Nous avons pu appliquer l'approche 3 x 3 x 2 pour la génération d'activités d'inventaires botaniques adaptées au contexte du citoyen (relevés à proximité et préférences d'inventaires du citoyen) dans le cadre du projet REVERIES (Gicquel *et al.*, 2019). Le « métier » considéré est celui de l'inventaire botanique. À terme, des préoccupations « apprentissage » et « ludique » devront être prises en compte afin que l'activité d'inventaire générée ait, en plus de l'objectif d'inventaire, un objectif d'apprentissage et un objectif ludique, adaptés au profil du citoyen. L'approche 3 x 3 x 2 ne convient pas lorsqu'il faut prendre en compte différentes préoccupations (apprentissage, ludification et inventaire citoyen), mais semble convenir pour une seule préoccupation prise indépendamment des autres. De futurs travaux approfondiront l'étude de ce constat.

6.4. Vers une réduction du temps de validation des règles de génération

L'analyse de Hocine *et al.* (2011) relève que « la plupart des travaux sur les jeux sérieux n'identifient pas explicitement un modèle pour représenter les règles de l'adaptation ». Bien que notre proposition permette de faciliter la conception de la génération de scénarios adaptés, elle ne permet toujours pas de faciliter la mise en œuvre concrète des règles de génération, qui reste une tâche de programmation non négligeable. En effet, dans notre contexte, les éléments en jeu dans la génération sont capturés dans les deux dimensions métamodèles et modèles, mais les règles de génération sont directement « traduites » de leur expression en langage naturel dans le code final du générateur. Le développement du générateur requiert la manipulation de modèles et de métamodèles, déjà prise en charge par les nombreux écosystèmes d'outillage proposés en IDM (dont EMF que nous avons utilisé), et la traduction des règles de génération qui incombe aux concepteurs informaticiens. Dans le cas du projet *Escape it!* la génération suit une simple approche algorithmique de programmation pour traduire la majorité des règles. Néanmoins les contraintes sur le choix des scènes et des thèmes (exprimées dans la table 3) ont nécessité l'utilisation d'une librairie (*Choco Solver*) spécialisée dans la programmation de contraintes. La section haute de la figure 11 illustre cette approche.

Cette mise en œuvre des règles de génération nécessite un temps non négligeable (donc un coût) qui ne permet pas de tester les règles explicitées avec les experts pendant la session d'échange. Nous avons présenté l'importance de tester le plus rapidement possible les règles de génération pour les valider, les affiner ou les modifier. Nous avons alors également cherché à considérer la transformation de modèle non comme un problème algorithmique de programmation, mais comme un problème de satisfaction de contraintes. Afin de conserver la valeur ajoutée de la spécification des éléments de génération en modèles et métamodèles, nous avons proposé une implémentation orientée IDM du CSP (*Constraint Satisfaction Problem*) selon une approche *pattern-matching* centrée sur la cible à générer (Laghouaouta et Laforcade, 2018) (voir seconde « ligne » de correspondance de la figure 11). Cette approche réduit le temps de mise en œuvre à celui de spécification des règles selon l'approche proposée (la partie « moteur de règles » implémentée étant générique). Nous avons pu prouver que le temps de modification des règles était meilleur qu'avec d'autres mises en œuvre, mais le formalisme proposé pour spécifier les règles nécessite une expertise spécifique pour leur rédaction

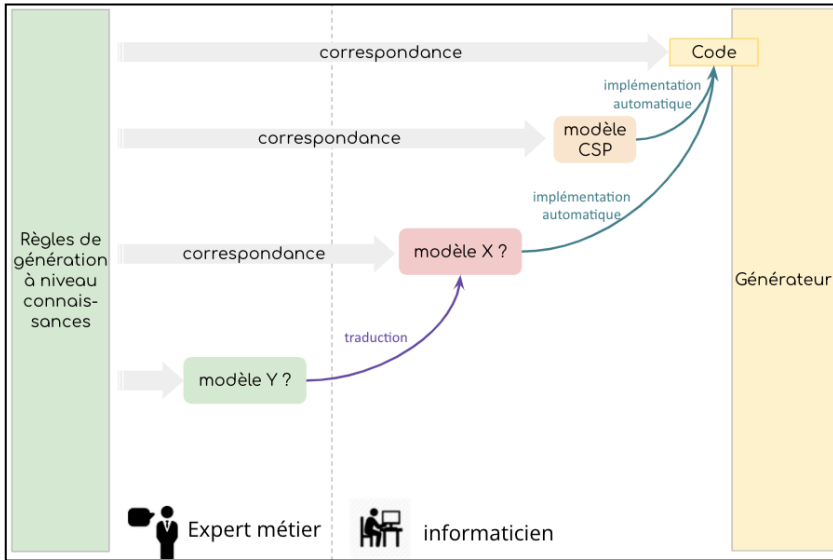


Figure 11 • Schématisation des différents « efforts de correspondances » nécessaires à la mise en œuvre informatique des règles d'adaptation

Comme illustré, et simplifié, dans le reste de la figure 11, nous nous interrogeons sur la possibilité de proposer des formalismes de spécification dédiés aux règles d'adaptation, c.-à-d. dont la représentation des règles et le raisonnement exploitant celles-ci seraient spécifiques. Nous illustrons en figure 11 deux cas. Le premier formalisme permettrait à un informaticien peu ou non expert en IDM de spécifier les règles ou de les modifier (modèle X), sans qu'il soit nécessaire de modifier l'implémentation informatique du générateur. Le second cas serait encore plus proche de l'expression initiale des règles par les experts. Ce formalisme permettrait à ces experts d'exprimer eux-mêmes les règles d'adaptation (modèle Y).

7. Conclusion

Nous avons proposé une approche de conception IDM pour la génération de scénarios adaptés dans des jeux d'apprentissage. Elle permet d'appréhender la spécification des différents modèles et métamodèles selon trois perspectives (points de vue incrémentaux sur les éléments à générer) et trois dimensions (les éléments à générer, les éléments décrivant le contexte de la génération, les éléments décrivant le jeu d'apprentissage). Nous avons appliqué cette approche dans le contexte du projet *Escape it!*

Cela nous a permis de concevoir un générateur de scénarios de scènes de jeu et de leurs configurations, adaptés au profil d'apprentissage des enfants. Le générateur conçu a été concrètement développé, intégré au jeu d'apprentissage et testé avec succès.

Nous avons également analysé la proposition afin de mettre en évidence ses valeurs ajoutées et ses limites. Elle permet en effet de guider l'identification des éléments en jeu dans la génération visée et de les spécifier sans ambiguïté. Ces spécifications peuvent alors être exploitées afin de vérifier, grâce au générateur implémenté, que les scénarios produits sont pertinents et cohérents avec les règles de génération identifiées. Néanmoins, le contexte spécifique des jeux d'apprentissage implique la prise en compte de nouvelles dimensions (le jeu, l'ergonomie, l'émotion, etc.), la collaboration de différents experts (l'enseignant, le concepteur de jeu, etc.) et une part d'incertitude dans l'explicitation des règles d'adaptation. Les règles sont alors plus difficiles à identifier et à vérifier que dans d'autres contextes. Il est important que le temps pour implémenter ces règles soit le plus court possible afin de pouvoir rapidement les expérimenter. La proposition actuelle n'aborde pas la spécification des règles de génération. Des études et propositions complémentaires doivent être réalisées.

RÉFÉRENCES

Bieliková, M., Divéky, M., Jurnečka, P., Kajan, R. et Omelina, L. (2008). Automatic generation of adaptive, educational and multimedia computer games. *Signal, Image and Video Processing*, 2(4), 371-384. <https://doi.org/10.1007/s11760-008-0086-z>

Brusilovsky, P. (1998). Adaptive educational systems on the World Wide Web. Dans *Proceedings of Workshop Current Trends and Applications of Artificial Intelligence in Education, 4th World Congress on Expert Systems*. Mexico City, ITESM, Mexico (p. 9-16).

Burton, L. R. et McEachin, J. (1999). *A work in progress: Behavior management strategies and a curriculum for intensive behavioral treatment of autism*. DRL Books.

Cohard, P. (2015). L'apprentissage dans les serious games : proposition d'une typologie. *@GRH*, 3(16), 11-40. <https://doi.org/10.3917/grh.153.0011>

Delmas, G., Champagnat, R. et Augeraud, M. (2007). Plot monitoring for interactive narrative games. Dans *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '07)* (p. 17-20). ACM.

Ern, A. M. (2014). *The use of gamification and serious games within interventions for children with autism spectrum disorder. A systematic review*. <http://essay.utwente.nl/64780/>

Gicquel, P.-Y., Hamon, L., Plaut, F. et George, S. (2019). Albiziapp: A gamified tool dedicated to tree mapping. Dans *Proceedings of the International Conference on Games and Learning Alliance (GALA 2019)* (p. 287-297). Springer Nature Switzerland AG.

Hocine, N., Gouaich, A., Di Loreto, I. et Abrouk, L. (2011). Techniques d'adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série RIA : Revue d'Intelligence Artificielle*, 25(2), 253-280.

Hussaan, A. M. et Sehaba, K. (2016). Consistency verification of learner profiles in adaptive serious games. Dans *Proceedings of the 11th European Conference on Technology Enhanced Learning* (p. 384-389). Springer.

Janssens, O., Samyny, K., Van de Walle, R. et Van Hoecke, S. (2014). Educational virtual game scenario generation for serious games. Dans *Proceedings of the 2014 IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)* (p. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SeGAH.2014.7067106>

Jézéquel, J. M., Combemale, B. et Vojtisek, D. (2012). *Ingénierie dirigée par les modèles : des concepts à la pratique*. Références sciences, Ellipses.

Koegel, L. K. et Ashbaugh, K. et Koegel, R.L. (2016). Pivotal response treatment. Dans R. Lang, T. B. Hancock et N. N. Singh (dir.), *Early Intervention for Young Children with Autism Spectrum Disorder* (p. 85-112). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30925-5_4

Kurtev, I. (2005). *Adaptability of model transformations* [Thèse de l'Université de Twente, Enschede, Pays-Bas]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.224.5233&rep=rep1&type=pdf>

Laforcade, P. (2010). A domain-specific modeling approach for supporting the specification of visual instructional design languages and the building of dedicated editors. *Journal of Visual Languages & Computing*, 21(6), 347-358. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2010.08.008>

Laforcade, P. et Laghouaouta, Y. (2018). Supporting the adaptive generation of learning game scenarios with a model-driven engineering framework. Dans *Lifelong Technology-Enhanced Learning - 13th European Conference on Technology-Enhanced Learning (ECTEL'18)* (p. 151-165). Springer.

Laghouaouta, Y. et Laforcade, P. (2018). A practical approach for constraint solving in model transformations. Dans *Software Technologies* (p. 104-123). Springer. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02305449>

Loiseau, E., Laforcade, P., El Mawas, N. et Iksal, S. (2017). Abstraction des fonctionnalités d'une plateforme de formation pour la mise en œuvre de langages de scénarisation. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 24(1). <http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2017/24.1.3.loiseau/24.1.3.loiseau.htm>

Lopes, R. et Bidarra, R. (2011). Adaptivity challenges in games and simulations: A survey. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 3(2), 85-99. <https://doi.org/10.1109/TCAIG.2011.2152841>

Mandin, S., Guin, N. et Lefevre, M. (2015). Modèle de personnalisation de l'apprentissage pour un EIAH fondé sur un référentiel de compétences. Dans *Actes de la 7^e Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH'2015)* (p. 126-137). Agadir, Maroc. http://www.atief.fr/sites/Conf/eiah2015/uploads/Actes_EIAH2015.pdf

Marfisi-Schottman, I. (2019). Games in higher education. Dans A. Tatnall (dir.), *Encyclopedia of Education and Information Technologies* (p.1-9). Springer. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02314679>

Partington, J. W. (2010). *The assessment of basic language and learning skills-revised (the ABLLS-R)*. Behavior Analysts.

Pierce, N., Conlan, O. et Wade, V. (2008). Adaptive educational games: Providing non-invasive personalized learning experiences. Dans *Proceedings of the 2008 Second IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL'08)* (p. 28-35). IEEE. Récupéré de <https://ieeexplore.ieee.org/document/4700726>

Sehaba, K. et Hussaan, A. (2013). GOALS: generator of adaptive learning scenarios. *International Journal of Learning Technology*, 8, 224-245. <https://doi.org/10.1504/IJLT.2013.057061>

Sehaba, K. et Hussaan, A. (2014). Architecture et modèles génériques pour la génération adaptative des scénarios de jeux sérieux. Application : Jeu d'évaluation et de rééducation cognitives. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 21(1), 615-648.

Sina, S., Rosenfeld, A. et Kraus, S. (2014). *Generating content for scenario-based serious-games using crowdsourcing*. Dans *Proceedings of the 28th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'14)* (p. 522-529).

Steinberg, D., Budinsky, F., Paternostro, M. et Merks, E. (2009). *EMF: Eclipse Modeling Framework 2.0*. Addison-Wesley Professional.

Vandewaetere, M., Desmet, P. et Clarebout, G. (2011). The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments. *Computers in Human Behavior*, 27(1), p. 118-130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.038>

Vermeulen, M., Guigon, G., Mandran, N. et Labat, J. M. (2018). Vers une approche meta-design des learning games avec le modèle DISC : de la conception à l'analyse des traces d'usage des étudiants par les enseignants. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 25(1).

Zakari, H. M., Ma, M. et Simmons, D. (2014). A review of serious games for children with autism spectrum disorders. Dans *Proceedings of International Conference on Serious Games Development and Applications* (p. 93-106). Springer.

Zniber, N. et Cauvet, C. (2005). Systèmes pédagogiques adaptatifs : état de l'art et perspectives. Dans *MajecSTIC 2005 : Manifestation des jeunes chercheurs francophones dans les domaines des STIC* (p. 300-315). <https://hal.inria.fr/inria-00000723>



Les difficultés et les stratégies d'ajustement des enseignants face à l'innovation technologique : trois études de cas

► **Stéphanie BOÉCHAT-HEER, Esther GONZÁLEZ-MARTÍNEZ** (Haute École pédagogique des cantons de Berne, du Jura et de Neuchâtel)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article synthétise les résultats de trois études empiriques sur l'introduction d'un outil technologique dans l'enseignement de niveau primaire ou secondaire en Suisse. Il s'agit d'une plateforme Internet d'apprentissage de la lecture et l'écriture, de tablettes numériques et d'un outil « Lanterne » de gestion de classe. Nous analysons des entretiens avec les enseignants pour mettre en évidence les principaux avantages qu'ils perçoivent. Nous examinons également les principales difficultés rencontrées par les enseignants et les stratégies mobilisées pour les dépasser.

■ **MOTS-CLÉS** • innovation technologique, innovation pédagogique, enseignement scolaire, difficultés, stratégies d'ajustement.

■ **ABSTRACT** • *This article summarizes the results of three empirical studies on the introduction of technological tools in primary and secondary schools in Switzerland. These are an internet platform for learning how to read and write, digital tablets, and a "lantern" for classroom management. We focus on the interviews with the teachers to highlight the positive aspects of using these tools. We also present the main difficulties encountered by the teachers and the strategies they deploy to overcome them.*

■ **KEYWORDS** • *technological innovation, pedagogical innovation, School Education, difficulties, coping strategies.*

1. Introduction

Avec la transformation numérique en cours, les enseignants et les élèves sont confrontés à des défis importants ; une situation que la crise sanitaire COVID-19 a encore accentuée. Des recommandations (CDIP, 2018) et des plans d'action au niveau Suisse (CIIP, 2018) et international (OCDE, 2018) sont déployés pour favoriser la transition vers une école où les technologies de l'information et de la communication (TIC) prendraient une place centrale. Même si les enseignants sont de mieux en mieux équipés dans le domaine du numérique (accès Internet, appareils, médias et autres), leurs compétences et leurs usages en classe ne sont pas encore satisfaisants (OCDE, 2015). Selon Boéchat-Heer (2018), les enseignants suisses se situent en phase d'adoption des TIC selon le modèle de Depover et Strebelle (1997). Ils se servent de ces ressources comme appui à leur enseignement, pour des activités de présentation (diaporamas) ou pour des activités de soutien à certains élèves (répétition d'exercices). Il peut s'agir d'occuper un élève qui a de l'avance ou d'aider un élève qui a plus de difficultés (didacticiels), ou de rechercher de l'information sur Internet. Les enseignants, eux, n'utilisent que rarement les TIC comme outils d'évaluation des apprentissages. En temps normal, ils préfèrent également les échanges directs sans médiation technologique pour la communication avec les élèves. Toutefois, les enseignants sont, de gré ou par la force des choses, en train d'évoluer vers des utilisations plus ambitieuses.

Cet article traite des avantages perçus par les enseignants, en temps normal, lors de l'introduction dans leur enseignement d'un nouvel outil technologique. Il met également en évidence les difficultés rencontrées par les enseignants lorsqu'ils innovent et les stratégies d'ajustement mobilisées pour y faire face. Au niveau empirique, nous mobilisons les résultats de trois études de cas, réalisées par l'équipe de la première auteure, documentant à chaque fois un processus d'introduction d'une innovation technologique dans l'enseignement de niveau primaire ou secondaire. Les trois études ont été commanditées par une instance directrice qui souhaitait obtenir des informations sur les avantages et les inconvénients de l'innovation en question avant d'élargir l'expérience à de nouveaux terrains.

Pour commencer, nous exposerons quelques éléments théoriques issus de la littérature sur l'utilisation des TIC en classe par les enseignants, qui inspirent notre propre démarche. Nous présenterons ensuite notre cadre méthodologique et l'objet des études de cas. L'analyse portera en premier sur les avantages que les enseignants perçoivent. Ensuite, nous exposerons

les difficultés que les enseignants rencontrent à opérer cette intégration. Pour finir, nous présenterons quelques ressources et stratégies d'ajustement mobilisées par les enseignants.

2. Cadre conceptuel

2.1. Innovation technologique et pédagogique

Dans les établissements scolaires, les innovations technologiques peuvent résulter de l'initiative des enseignants (*bottom-up*) ou des décideurs (*top down*). La première forme s'incarne de manière transversale dans toutes les disciplines. La deuxième forme est parfois vécue difficilement par les enseignants qui ne voient pas toujours le sens de l'innovation. Selon Gather Thurler (2004), « *le sort d'une innovation dépendra fortement du sens que lui attribuent les acteurs, en particulier ceux auxquels on demande de transformer leurs pratiques* » (p. 102). Elle souligne que « *l'une des clés de la réussite de l'innovation passe donc désormais par la capacité des systèmes à créer des dispositifs qui permettent aux acteurs de mettre en réseau leurs compétences professionnelles et de reconstruire le lien qui doit exister entre leurs croyances, idéaux, pratiques quotidiennes et les missions générales du système éducatif* » (p. 107). Lison et al. (2014) évoquent même une « *culture de l'innovation, liée à la structure de l'organisation elle-même* » (p. 11). Fullan (1985) signale à ce sujet l'importance de donner un sens à l'action des acteurs, à travers des interactions, des valeurs communes et un leadership fort soutenant l'innovation.

Les trois études de cas présentées dans cet article rendent compte d'innovations pédagogiques résultant d'initiatives de décideurs. Les enseignants ont respectivement accepté d'intégrer dans leur enseignement une plateforme de lecture et d'écriture sur Internet, une tablette numérique et une « lanterne » de gestion de classe. Ils ont reçu une formation à l'utilisation de l'outil en question et ont ensuite été amenés à découvrir par eux-mêmes la manière de s'en servir concrètement sur le terrain. Dans ce cadre, nous nous sommes demandé si le fait d'intégrer un nouvel outil dans son enseignement (innovation technologique) engendrait une modification des pratiques existantes (innovation pédagogique).

Déjà en 2004, Baron et Bruillard exprimaient à ce sujet : « *Les situations d'innovations ne sont pas toujours porteuses de changement, ou du moins de changement radical* » (2004, p. 160). Aujourd'hui encore, Dazy-Mulot et Audran – cités dans (Bernard et Fluckiger, 2019, p. 6) – arrivent au même constat : « *Ce n'est pas parce qu'on introduit une technologie qualifiée*

d'innovante dans un contexte d'éducation ou de formation que la pratique se renouvelle et devient forcément innovante [...]. Innovant ou non, l'artefact n'est donc pas l'élément déterminant. [...] Il n'y a donc pas de lien a priori entre innovation technologique et innovation pédagogique.» Tricot (2017) prétend également que l'innovation technologique n'entraîne pas nécessairement l'innovation pédagogique. Intégrer un nouvel outil dans son enseignement demande des changements qui sont parfois vécus difficilement, car l'innovation est « *un processus bien plus qu'un produit* » (Cros, 1996, p. 19).

Si l'on reprend Baron et Bruillard (2004, p.160), « *les situations d'innovations ne sont pas toujours porteuses de changement, ou du moins de changement radical* ». Tricot (2017) parle même de « micro-innovation ». Selon Cros et Broussal (2020), l'innovation pédagogique est le fait de tout enseignant, car il ne refait jamais à l'identique une même pratique. Cela peut aller d'un changement infinitésimal (innovation incrémentale) à un bouleversement dont les raisons peuvent être très diverses (innovation de rupture). Ils ajoutent que tout enseignant est un innovateur qui s'ignore. Ils rejoignent ainsi le concept d'« innovation ordinaire » proposé par Alter (2013), qui caractérise une innovation quotidienne se traduisant par des gestes nouveaux ou inhabituels face à une réalité changeante liée à des situations différentes d'enseignement et d'apprentissage. Selon Paniagua et Istance (2018), l'innovation dans l'enseignement devient un processus de résolution de problèmes enraciné dans le professionnalisme des enseignants. Les effets de l'innovation sur les pratiques ne sont peut-être pas immédiats, mais deviennent visibles si les usages s'étendent à long terme et que les enseignants voient une plus-value pédagogique et parviennent à donner du sens à leur pratique.

En effet, de nombreux travaux montrent que l'introduction d'un nouvel outil dans l'enseignement peut modifier les pratiques, le rôle et la posture de l'enseignant (Lameul, 2019 ; Lebrun, 2002 ; Tardif, 1998). Si nous reprenons les travaux de Tardif, les rôles des élèves et des enseignants changent avec l'intégration d'un nouvel outil. Les élèves deviennent des « *investigateurs, des coopérateurs, parfois experts, des clarificateurs et des utilisateurs stratégiques des ressources disponibles* » (p. 70). Les enseignants deviennent des « *créateurs d'environnements pédagogiques, des professionnels interdépendants, ouverts et critiques, des provocateurs de développement, des médiateurs entre les savoirs et les élèves, des entraîneurs ainsi que des collaborateurs dans la réussite de tous les élèves d'une école* » (p. 59). Ces changements de rôle sont importants pour

augmenter l'autonomie des apprenants, qui se voient transférer une partie du contrôle de leur apprentissage, les conduisant ainsi à développer de nouvelles compétences.

En ce qui nous concerne, les questions abordées par la littérature nous ont motivées à essayer de comprendre à travers nos propres études les difficultés rencontrées par les enseignants, la manière dont ils les résolvent et les ressources mobilisées.

2.2. Intégration d'un nouvel outil et changements dans l'enseignement

Plusieurs auteurs se sont attelés à décrire les différents stades d'intégration par lesquels les enseignants passent lorsqu'ils souhaitent innover dans leur enseignement (Depover et Strebelle, 1997 ; Mishra et Koehler, 2006 ; Morais, 2001 ; Raby, 2005). Certains ont mis en avant l'importance d'une utilisation personnelle avant l'utilisation professionnelle et pédagogique (Raby, 2005). L'autoformation étant ici mise en avant. D'autres énumèrent réellement les différentes phases comme un processus allant de l'appropriation à la routinisation (Depover et Strebelle, 1997 ; Morais, 2001). Les enseignants développent ainsi graduellement une expertise, une routine d'usage, des habitudes. Le modèle de Depover et Strebelle (1997) permet de rendre compte de l'importance de l'environnement, des contacts directs avec les différents systèmes (micro, méso, macro), des relations, de l'apport des communautés de pratique. Dans le processus d'intégration d'une innovation, ces auteurs notent le soutien des différents systèmes comme un élément important. Au niveau du mésosystème, ils mettent en avant les gestionnaires des locaux, les collègues, les parents. Au niveau du macrosystème, ce sont les gestionnaires centraux, les centres de formation et la communauté de pratique. Et finalement, au niveau du périssystème, sont évoqués les parents en tant que membres de la société et les clubs d'utilisateurs.

Ces modèles ont l'avantage de présenter les différents stades d'intégration d'une innovation, mais ils ne permettent pas une analyse fine des difficultés rencontrées et des ressources mobilisées par les enseignants eux-mêmes pour les dépasser, passer d'un stade à l'autre et perdurer dans la transformation. Dès lors, nous nous demandons quelles sont concrètement ces difficultés, ces ressources ainsi que les stratégies d'ajustement mobilisées par les enseignants eux-mêmes lorsqu'ils sont confrontés au défi de l'introduction des nouvelles technologies en classe.

En effet, toute innovation dans l'enseignement demande des modifications à plusieurs niveaux (rôle et posture de l'enseignant, configuration de la classe, méthodes d'enseignement, etc.) et il semble difficile de former et préparer les enseignants à tous ces changements. Les outils évoluent rapidement, les pratiques et les méthodes d'enseignement se modifient selon l'outil utilisé. Toute pratique innovante demande de l'entraînement, davantage de préparation, des prises de décisions en direct, la mise en place d'un plan B, la résolution de problèmes et de la créativité. Il semble primordial d'accompagner les enseignants dans cette transformation par une réflexion sur leur pratique, par des dispositifs permettant d'augmenter leur sentiment d'auto-efficacité (Bandura, 1997) et de développer leur capacité d'adaptation au changement, d'autonomie, d'autoformation et d'autorégulation des apprentissages (Zimmerman, 2000). Il semble également important de leur apprendre à gérer les difficultés, à trouver des solutions, à résoudre des problèmes.

2.3. Stratégies d'ajustement

Dans nos propres études de cas, les enseignants qui s'adaptent à un nouvel outil sont confrontés à différents problèmes (techniques ou pédagogiques) qui les déstabilisent et les démotivent parfois à poursuivre. Ils évoquent souvent un sentiment de stress dans la préparation et durant la pratique en classe. Une part d'incertitude liée aux probables problèmes techniques les met dans une situation d'inconfort, de non-maîtrise, de visibilité d'une forme de faiblesse. Dès lors, nous nous sommes demandé quelles sont les stratégies d'ajustement mises en place lorsque les enseignants se trouvent confrontés à ces difficultés.

Le concept de « *coping* » (« *to cope* » signifiant « faire face à »), traduit dans la littérature francophone par les termes « stratégies d'ajustement » ou « stratégies d'adaptation », est issu de la théorie cognitive du stress de Lazarus et Folkman (1984). D'après ces auteurs, le *coping* est « l'ensemble des efforts cognitifs et comportementaux, constamment changeants, déployés (par une personne) pour gérer les exigences internes et/ou externes perçues comme consommant ou excédant ses ressources » (p.141). Lazarus et Launier (1978) mettent en avant trois stratégies de *coping* : le *coping* « centré sur le problème ou la tâche », comme la recherche d'informations, l'élaboration de plans d'action, la planification, le contrôle de la situation ; le *coping* « centré sur l'émotion » comme la minimisation de la situation, l'auto-accusation et l'évitement ; et le *coping* centré sur la « recherche de soutien social » comme obtenir la sympathie ou l'aide d'autrui, parler avec

des collègues, exprimer son point de vue. Schwarzer et Knoll (2002) vont plus loin dans la distinction et proposent quatre types de *coping* : le *coping* réactionnel, anticipatoire, préventif et le *coping* proactif ou dynamique. Selon Hartmann (2008), le *coping* réactionnel peut être défini comme un effort pour gérer un événement du passé ou du présent (par exemple, un bug technique) en réajustant les buts ou en trouvant du sens à la pratique. Ce *coping* peut être orienté sur le problème, l'émotion ou les relations sociales. Il reprend donc en partie l'approche classique du *coping*. Le *coping* anticipatoire consiste à gérer le risque perçu par rapport à une situation évaluée comme un défi (une pratique innovante par exemple). Le *coping* préventif consiste à anticiper et à se préparer à des événements difficiles de la vie. Selon Hartmann (2008, p.287), «*la théorie du coping proactif comprend à la fois les stratégies de self-regulation, de la réalisation des buts (self-regulated goal attainment strategies) et le concept d'évolution personnelle (personal growth). Ainsi, cette théorie intègre les aspects temporels du coping, c'est-à-dire, non seulement le coping face aux événements passés, mais aussi le coping face aux événements futurs*». Du coup, le *coping* proactif permet le développement de compétences, l'accumulation de ressources et la planification à long terme.

L'étude de Laugaa et Bruchon-Schweitzer (2005) met en évidence un lien entre sentiment d'auto-efficacité et stratégies d'ajustement en montrant que l'auto-efficacité est associée positivement au *coping* centré sur le problème. Les enseignants qui se perçoivent comme auto-efficaces vont plus facilement mettre en place des stratégies de résolution de problème que les autres. Selon Lecomte (2004), les personnes avec un fort sentiment d'efficacité personnelle prennent les tâches difficiles comme des défis, ont un intérêt important pour la tâche, trouvent les objectifs stimulants, font beaucoup d'efforts, sont centrées sur la tâche, ont un raisonnement stratégique en face des difficultés, attribuent l'échec à un effort insuffisant et exercent un contrôle sur les menaces et les stressseurs. En revanche, les personnes qui doutent d'elles-mêmes évitent les tâches difficiles, ont peu de motivation, diminuent leur effort et abandonnent rapidement devant les obstacles, ont des aspirations réduites et s'impliquent faiblement vis-à-vis des objectifs, s'appesantissent sur leurs insuffisances, sur les difficultés de la tâche et sur les conséquences problématiques de l'échec dans les situations stressantes, retrouvent difficilement leur sentiment d'efficacité à la suite d'un échec et sont victimes du stress.

Les stratégies d'ajustement sont donc importantes pour affronter les difficultés rencontrées en situation d'innovation. Zimmerman (2000) évoque l'autorégulation proactive, créatrice de buts et de plans d'action et l'autorégulation réactive destinée à dépasser les obstacles surgissant dans la poursuite des buts fixés. En analysant les difficultés auxquelles les enseignants sont confrontés et les stratégies qu'ils déploient pour les dépasser, nous cherchons justement à apporter des pistes de réflexion pour construire des dispositifs de formation qui accompagnent les enseignants et les aident à s'approprier les innovations technologiques.

3. Trois études de cas : objets, méthodes et données

En nous appuyant sur la littérature évoquée, nous avons souhaité saisir la manière dont des enseignants font face à l'introduction d'un nouvel outil technologique dans leur enseignement. Les questions de recherche sont les suivantes :

- Quels sont les avantages et les difficultés perçus par les enseignants lorsqu'ils s'adaptent à l'introduction d'un nouvel outil dans leur enseignement ?
- Quelles sont les ressources et les stratégies d'ajustement mobilisées pour surmonter les difficultés rencontrées ?

Pour répondre à ces questions, nous nous baserons sur trois études de cas réalisées au sein de l'équipe de la première auteure (Boéchat-Heer et Arcidiacono, 2014 ; Boéchat-Heer *et al.*, sous presse ; Miserez-Caperos *et al.*, 2017). Ces études ont en commun de porter sur l'intégration d'un nouvel outil technologique dans l'enseignement au niveau primaire ou secondaire. Les établissements scolaires en question sont différents, mais se situent tous dans une même région en Suisse francophone. Par ailleurs, les trois études sont issues de demandes des décideurs ayant introduit l'innovation et souhaitant évaluer ses effets sur le travail enseignant et l'apprentissage avant d'élargir l'expérience à de nouvelles classes.

Ces études ont également en commun des caractéristiques méthodologiques :

- elles adoptent une perspective compréhensive cherchant à traiter des objets abordés à partir du point de vue des acteurs concernés (Marshall et Rossman, 1995) ;
- l'outil privilégié pour la collecte des données est l'entretien individuel ou collectif avec des enseignants accompagné parfois d'autres moyens ;

– l’analyse des entretiens est essentiellement qualitative et cherche à identifier des traits de l’expérience concrète des enseignants sur le terrain (pratiques, difficultés, ressentis, ressources et stratégies d’ajustement).

Dans cet article, nous nous concentrerons principalement sur les résultats convergents de l’analyse des entretiens des trois études. Une présentation systématique des différences demanderait en effet des comparaisons complexes, entre outils et contextes d’utilisation, dépassant le cadre du présent article.

3.1. Étude de cas 1 : introduction de la plateforme *MyMoment*

La première étude a porté sur l’introduction de la plateforme d’apprentissage de l’écriture et de la lecture *MyMoment* par des enseignants du primaire (Miserez-Caperos *et al.*, 2017). Nous souhaitons comprendre quels sont les avantages et les difficultés des enseignants lorsqu’ils intègrent cette plateforme dans leur enseignement et comment ils résolvent les problèmes rencontrés. Les chercheuses ont interviewé huit enseignants, exerçant leur métier avec des élèves âgés de 9 à 12 ans (5 à 8 ans selon l’accord intercantonal sur l’harmonisation de la scolarité obligatoire – HarmoS – dans le système suisse). Elles ont recueilli les propos des enseignants au moyen d’entretiens individuels semi-directifs. Le guide d’entretien était composé de trois parties : 1/le profil professionnel des enseignants ; 2/leur formation en matière d’utilisation des TIC et de la plateforme *MyMoment* en particulier (habitudes d’utilisation des TIC, sentiment de compétence) ; 3/utilisation de la plateforme *myMoment* en classe (gestion de la classe, innovation pédagogique, effets de l’utilisation de la plateforme sur les apprentissages, etc.). Les entretiens semi-directifs ont été analysés de manière qualitative (Maroy, 1995), selon une analyse thématique (Miles et Huberman, 2015) et catégorielle de contenu (Bardin, 1977). Nous avons tout d’abord analysé les entretiens en cherchant les éléments en lien direct avec les questions d’entretien. Ce faisant nous avons découvert des éléments qui n’apparaissaient pas dans le guide utilisé. Nous avons enfin réalisé une analyse transversale de l’ensemble du corpus pour faire ressortir les convergences entre les entretiens ; pour une présentation détaillée de l’étude, sa méthode et ses résultats, voir Miserez-Caperos *et al.* (2017).

3.2. Étude de cas 2 : Introduction de tablettes numériques

L'objectif de cette étude était d'identifier la manière dont les enseignants intègrent des tablettes numériques dans leur enseignement et l'impact de celles-ci sur les apprentissages et la gestion de la classe (Boéchat-Heer et Arcidiacono, 2014). Les chercheurs ont étudié deux classes. La première était une classe de l'enseignement ordinaire en 2^e année du cycle secondaire 1 (13 à 14 ans, 10 HarmoS dans le système suisse). Elle regroupait neuf enseignants et 14 élèves. La deuxième classe regroupait 4 enseignants et 13 élèves de l'enseignement spécialisé, également en deuxième année du cycle secondaire 1 (13 à 14 ans, 10 HarmoS dans le système suisse). Les chercheurs ont organisé des entretiens collectifs (focus group) avec les enseignants de chaque classe. Elles ont également collecté des données à travers un questionnaire et un journal de bord en ligne, destinés aux enseignants, et un questionnaire version papier, destiné aux élèves. Les entretiens collectifs ont été analysés suivant la même démarche qualitative (analyse thématique et catégorielle de contenu, par entretien et transversale) mobilisée pour l'étude de cas 1, tout en tenant compte des dynamiques de groupe. L'analyse finale a été réalisée en combinant les résultats tirés des différentes sources de données dans une logique de triangulation (Thurston *et al.*, 2008); pour une présentation détaillée de l'étude, sa méthode et ses résultats, voir Boéchat-Heer et Arcidiacono (2014).

3.3. Étude de cas 3 : Introduction de « lanternes » de gestion de classe

La troisième étude a porté sur l'introduction d'un outil « Lanterne » au niveau de l'enseignement primaire (Boéchat-Heer *et al.*, sous presse). Il s'agit d'un outil de gestion de classe consistant en une lampe lumineuse qui indique différents temps dans l'orchestration d'un cours (Alavi et Dillenbourg, 2012; Dillenbourg *et al.*, 2011). Les chercheuses se sont penchées sur deux classes de l'enseignement primaire qui venaient d'introduire ces lanternes. La première réunissait une enseignante et 18 élèves en 5-6^e HarmoS (8 à 10 ans). La deuxième était composée d'une enseignante et de 19 élèves de 7^e HarmoS (10 à 11 ans). Les chercheuses ont fait des entretiens individuels avec les enseignants, réalisé des observations filmées en classe et demandé aux élèves de remplir un questionnaire. Les entretiens ont été analysés suivant la même démarche qualitative (analyse thématique et catégorielle de contenu, par entretien et transversale) mobilisée pour l'étude de cas 1 et 2. L'analyse finale a été réalisée en

combinant les résultats tirés des trois sources de données dans la même logique de triangulation que l'étude 2 ; pour une présentation détaillée de l'étude, sa méthode et ses résultats, voir Boéchat-Heer *et al.* (sous presse).

4. Résultats

4.1. Les avantages perçus par les enseignants de l'utilisation d'un nouvel outil technologique dans leur enseignement

Les trois études de cas examinés dans cet article mettent en évidence que les enseignants voient plusieurs avantages à l'utilisation d'un nouvel outil technologique dans leur enseignement. Par exemple, les aspects ludiques et motivationnels. Dans l'étude sur la plateforme *MyMoment* (étude 1), un enseignant affirme : « *Ils ont eu du plaisir à faire des commentaires [sur la plateforme] chose que j'avais complètement minimisée* » ; « *Tout paraît plus ludique sur écran [...] il y a quand même cette attraction de la télé en fait [...] le beamer parce qu'il suffit qu'on l'allume et ils ont déjà l'impression d'être devant un écran et on capte plus leur attention donc il y aura vraiment cet attrait de l'écran qui rend quoi qu'on fasse sur l'ordinateur ça paraît, ça paraît cool.* » Dans l'étude sur les tablettes numériques (étude 2), le discours d'un enseignant va dans le même sens : « *Je peux faire le même exercice sur papier ou à la salle info ils ont l'impression que c'est plus amusant si on le fait dans la salle d'info alors que le fond c'est le même* » ; « *C'est surtout une curiosité de pouvoir utiliser un nouvel outil pédagogique.* » Dans l'étude sur les lanternes (étude 3), un enseignant précise que les élèves manifestent davantage de motivation à collaborer et à s'entraider : « *Les élèves qui traînaient habituellement se motivent pour aider les autres.* »

D'autres plus-values apparaissent, comme l'interactivité, la variété des activités, la différenciation pédagogique, l'autonomie des élèves, l'individualisation des apprentissages, le gain en temps, en capacité d'organisation et en productivité pour l'enseignante. Nous n'allons pas toutes les développer, car elles rejoignent les résultats d'autres études qui mettent en avant les mêmes avantages (Arndt, 2006 ; Karsenti et Collin, 2012 ; Karsenti et Fievez, 2013 ; Leclerc, 2003). Nous allons nous pencher tout particulièrement sur les déplacements au niveau des relations entre les enseignants et les élèves et sur les changements de la configuration de la classe.

4.1.1. Déplacements au niveau des relations entre les enseignants et les élèves

Les résultats des trois études de cas signalent des changements dans les relations entre les enseignants et les élèves suite à l'introduction du nouvel outil technologique. Dans l'étude 1, celle sur la plateforme *MyMoment*, une enseignante évoque une plus grande collaboration avec les élèves : « *Ils écrivent une histoire tapent le début et puis après, je finis parce qu'ils veulent l'avoir vraiment sur le site par exemple et puis on est pris par le temps donc ça m'est déjà arrivé c'est la dictée à l'adulte, mais c'est très bien, ils dictent et puis on peut en discuter aussi.* » Au lieu de donner une même tâche à toute la classe, à remplir de manière identique, l'enseignant co-construit l'activité dans l'échange avec chaque élève ou groupe d'élèves qu'il apprend ainsi à mieux connaître. Une enseignante y voit un avantage certain « *au niveau de l'individualisation, c'est parfait au niveau de la variation des rythmes.* »

Dans l'étude 2, celle sur les tablettes, il est également mis en avant l'intérêt pédagogique d'instaurer des modes de relation plus directs et individualisés entre les élèves et avec l'enseignant : « *L'avantage d'utiliser un projecteur est que je peux être face à ma classe donc j'écris le mot je les vois tous alors que si j'étais au tableau tout simplement je serais à l'envers.* » L'enseignant se déplace entre des groupes utilisant des tablettes, il ou elle passe d'un poste informatique à l'autre, s'assied à côté d'un élève pour faire équipe, etc.

Dans l'étude 3, celle sur les lanternes, les élèves avancent dans leurs tâches, seuls ou avec l'aide des camarades plus avancés. Ils travaillent davantage de manière autonome. Lorsqu'ils sont confrontés à un problème, ils sollicitent un camarade en se déplaçant en silence. Les élèves sont ainsi responsables, autonomes et autogèrent l'avancement de leur travail. À ce sujet, une enseignante affirme : « *Et puis ça du coup je trouve que c'est des choses que les lanternes sans mauvais jeux de mots [...] ont pu mettre en lumière parce qu'on a plus le temps en fait de voir aussi nos élèves comme ils travaillent finalement tout seuls et qu'ils s'autogèrent [...] c'est vrai que moi, dans une classe à deux ordres, j'ai jamais le temps je fais que de courir partout [...] je suis toujours en action et puis là, c'est des moments où je peux me retirer et en fait, où je vois ma classe fonctionner toute seule.* »

4.1.2. Changement de la configuration de la classe

Il ressort des trois études que la configuration de la classe est modifiée suite à l'introduction de l'outil technologique. Dans l'étude sur la plateforme *MyMoment* (étude 1), l'élève est rarement seul, assis devant son pupitre, à interagir avec l'écran, mais se retrouve souvent en groupe. La classe entière adopte des configurations qui sortent de l'ordinaire : certains élèves sont assis sur des poufs en attendant que les postes informatiques se libèrent ; des élèves se prennent en photo ou font des enregistrements vidéo ; ils interagissent avec des personnes à distance.

Dans l'étude sur les lanternes (étude 2), les deux enseignantes interviewées soulignent le climat de classe apaisant dû à la diminution du bruit lié à des bavardages, des interpellations et des déplacements. Une enseignante affirme : « *Moi, je trouve que y'a vraiment moins de bruit [...] pas dans le sens qu'on entendrait une mouche voler, mais dans le sens qu'ils parlent entre eux, mais ça reste totalement dans le sujet ça reste en chuchotant chacun est en train de travailler sur son exercice sur sa feuille donc moi j'ai remarqué que c'était super apaisant comme cadre de travail.* »

Dans l'étude sur les tablettes numériques (étude 3), les enseignants ont un avis moins favorable sur la question. La projection de l'écran de la tablette sur l'écran principal de la classe augmente leur capacité à rester en contact visuel avec la classe. Toutefois, la configuration de la classe reste la même. Les élèves travaillent, de manière individuelle ou en groupe, assis à leurs tables avec les tablettes et l'enseignant se déplace entre les différents postes. En conséquence, les enseignants ont des propos du type : « *J'ai le sentiment qu'on n'est pas jusqu'au-boutiste dans la méthode on revient toujours aux anciennes méthodes* » ; « *C'est la même démarche c'est un autre outil, mais la démarche reste la même et c'est là que je vois que cela bloque.* »

4.2. Les difficultés perçues par les enseignants lors de l'utilisation d'un nouvel outil technologique dans leur enseignement

Les trois études de cas mettent en évidence que les enseignants se trouvent confrontés à des difficultés lorsqu'ils utilisent un nouvel outil technologique dans leur enseignement. Ces difficultés ont trait à l'équipement et aux infrastructures à disposition, aux compétences nécessaires à l'utilisation des TIC et au soutien institutionnel pour le faire.

4.2.1. Manque d'équipement et problèmes techniques

Une première difficulté est en lien avec l'équipement (appareils et logiciels) et les infrastructures (salles et connexions) à disposition des enseignants. Dans l'étude sur la plateforme *MyMoment* (étude 1), il s'agit en premier titre du nombre d'ordinateurs et leur état de fonctionnement. Une enseignante affirme : « *Maintenant, on a un ordi pour la classe donc pour moi ce n'est pas suffisant, mais bientôt normalement un portable, mais pour vraiment bien pouvoir bosser, c'est toujours pas suffisant et puis on a une petite salle d'info, mais où les ordis mettent une demi-heure à s'allumer et quand ils sont tous sur Internet ça bogue [...] on a une tablette, mais ben là de nouveau d'en avoir une pour tous les enfants ça va, mais c'est pas beaucoup.* » Dans l'étude sur les tablettes numériques, des enseignants mettent en avant des difficultés similaires : « *Les soucis techniques nous ont un peu bouffés* » ; « *On a eu des problèmes techniques pour préparer les cours.* » Dans l'étude sur les lanternes, le premier inconvénient souligné par les enseignantes est celui des « bugs techniques ». En effet, les lanternes se déchargent et elles nécessitent d'être branchées à un câble USB pour être rechargées. Cela a été perçu comme fastidieux et chronophage.

Cependant, au niveau des difficultés matérielles et techniques, les différences entre les contextes d'utilisation sont très marquées. Certains établissements sont beaucoup mieux équipés que d'autres, mais partout se manifeste une même volonté d'introduire des améliorations par des acquisitions et de nouvelles installations. Toutefois, ce qui est un équipement et une infrastructure adéquate varie en fonction des contextes d'utilisation et les enseignants insistent sur le fait que les ressources matérielles doivent être aussi modulables que possible pour s'y adapter.

4.2.2. Sentiment de compétence faible et besoin de formation

Les enseignants des trois études expriment également des difficultés liées directement aux compétences nécessaires pour se servir des outils. Dans l'étude 1, sur la plateforme *MyMoment*, un enseignant affirme à ce sujet : « *Je suis peu à l'aise avec ce système c'est vrai qu'on n'a pas grandi avec ça où on dit y aller par tâtonnement, il y a pas vraiment un début une fin enfin dans les apprentissages il faut aller chercher il faut aller choisir ce qu'on veut prendre c'est un système vraiment avec une arborescence incroyable et pis moi c'est plutôt le système de A à Z.* »

Les enseignants interviewés pour cette étude expriment donc un manque de compétences propres, à acquérir par exemple à travers une formation, et font souvent référence à des tierces personnes qui pourraient les soutenir ou tout du moins les accompagner. Dans l'étude 2, sur les tablettes numériques, seulement trois enseignants sur les 13 interviewés déclarent avoir un bon sentiment de compétence dans l'utilisation des TIC. Par ailleurs, seulement une minorité en fait une utilisation hebdomadaire dans leur classe. En ce qui concerne concrètement l'utilisation personnelle des tablettes à l'école, la majorité des enseignants disent ne jamais en avoir fait usage avant la réalisation de l'étude. Dans l'étude 3, sur les lanternes, les enseignants sont plutôt favorables à l'introduction des lanternes et ont un sentiment d'auto-efficacité plutôt positif face aux nouveaux outils technologiques. Une enseignante déclare ainsi : « *Moi, je suis assez à l'aise avec les TIC je suis du genre un peu à farfouiller si ça va pas ou ça marche pas comme je veux, je vais aller chercher trouver je trouve des solutions.* »

Par ailleurs, il ressort de nos études que les formations à l'utilisation des TIC sont des occasions utiles au développement d'un sentiment de compétence. Elles favorisent par ailleurs des rencontres avec des collègues partageant les mêmes inquiétudes. Une aide sur les lieux de travail est aussi très appréciée eu égard à la spécificité de la situation de chaque enseignant. Toutefois, les enseignants sont conscients d'avoir, au mieux, une compréhension parcellaire des possibilités offertes par les TIC et du fonctionnement de ceux-ci. Ils se voient comme des utilisateurs restant sur des parcours tout tracés, par exemple en postant un texte sur Internet, sans saisir la manière dont le logiciel fonctionne et les possibilités de l'utiliser autrement. Les enseignants sont pourtant bien conscients de l'importance de se sentir à l'aise lorsqu'ils sont en contact avec la technologie, pour que « *ça se passe bien* » avec leurs élèves, mais aussi pour eux-mêmes. Au final, affirme une enseignante interviewée lors de la première étude, « *il y a quand même cette angoisse que les élèves sachent mieux que l'enseignant* ».

4.2.3. Gestion de classe difficile

Les enseignants de l'étude sur la plateforme *MyMoment* (étude 1) se retrouvent à jongler entre divers espaces d'activité tout en contrôlant les élèves qui, devant les écrans, auraient tendance surtout à jouer et visiter des sites peu constructifs. Par ailleurs, voir son image projetée sur un grand écran, surfer sur Internet ou utiliser un logiciel de reconnaissance de texte pour faire lire automatiquement des histoires suscitent une certaine

excitation chez les élèves. Si les élèves travaillent sur un objet qui leur tient à cœur, les discussions au sein du groupe peuvent être particulièrement vives. Du coup, l'enseignant rencontre des difficultés supplémentaires de gestion de classe : « *Ils ne peuvent pas être 10 sur un ordi parce que sinon, ça dégénère, après aussi, les commentaires qu'ils mettent, c'est différemment pensé c'est l'effet de groupe.* » Dans l'étude sur les tablettes (étude 2), les enseignants disent également avoir des soucis de discipline et toujours cette peur de perdre le contrôle. Les enseignants affirment : « *J'ai l'impression que les mettre en groupe avec les iPads pour les faire travailler ça ne marcherait simplement pas [...] il y a aussi quelques soucis de discipline dans la classe et ça freine un tout petit peu le projet* » ; « *Il est exclu de les laisser ils vont se prendre en photo ils vont faire des bêtises [...] si on n'est pas derrière ils vont jouer à des petits jeux alors qu'on leur a pas demandé de le faire.* » Dans l'étude sur les lanternes (étude 3), les résultats montrent un changement de posture du côté des enseignantes. Elles passent d'une posture initiale de contrôle, où elles se déplacent entre les rangs et interrogent les élèves, à une posture de « lâcher prise ». Elles laissent ainsi les élèves avancer dans leur travail de manière autonome, à leur rythme et peuvent au besoin demander qu'ils s'entraident.

4.3. Ressources et stratégies d'ajustement mobilisées par les enseignants

Dans l'étude sur la plateforme *MyMoment* (étude 1), les enseignants mobilisent de multiples ressources pour parvenir à faire face aux difficultés évoquées. Il s'agit de compétences propres, mais aussi de ressources mises à disposition par l'institution, comme du soutien technique, et des moyens tirés de leur sphère privée. Les enseignants utilisent leurs vacances pour monter un projet qui leur tient particulièrement à cœur. Ils utilisent leurs propres appareils (téléphones, ordinateurs portables, tablettes) ou ceux apportés par leurs élèves : « *On peut même leur demander de prendre leur ordi portable parce que c'est même ce qui va aller le plus vite* », déclare un enseignant. Parfois, ils demandent de l'aide à des parents d'élèves ou bien à leurs propres amis ou partenaires : « *J'ai mon copain aussi qui se débrouille bien avec Excel pour faire des tableaux donc je lui demande aussi conseil* », affirme une autre enseignante. Par ailleurs, les enseignants préparent de manière détaillée les activités à réaliser et anticipent les possibles contingences afin d'être en mesure d'apporter réponse à tout problème éventuel. Ils empruntent du matériel à des collègues, réservent des salles propices aux activités à réaliser et en préparent d'autres pour les élèves n'ayant pas un accès immédiat aux appareils. Une enseignante déclare :

« On va en salle d'informatique et là il y en a 14 en même temps et là le reste fait autre chose soit dans la salle en face soit dans la même salle et après on change. »

Dans l'étude sur les tablettes numériques (étude 2), les enseignants affirment ne pas collaborer beaucoup avec leurs collègues par rapport à la préparation des cours : *« On est chacun dans notre branche »* ; *« Je me vois pas poser des questions à mes collègues et j'imagine qu'eux non plus. »* Pour les problèmes techniques, ils affirment avoir eu recours à la responsable TIC de l'établissement qui a répondu positivement aux demandes. Comme soutien, ils souhaitent disposer d'une personne à appeler dès que quelque chose ne fonctionne pas : *« Il faudrait une personne à disposition et se mettre d'accord sur un certain nombre d'applications clés »* ; *« Une personne qui a effectivement x heures de décharges par semaine. »* Une enseignante reconnaît : *« J'ai réduit un peu à la baisse les choses, j'ai un peu réduit, j'ai préparé du coup de l'écrit pour mieux gérer. »*

Dans l'étude sur les lanternes (étude 3), l'outil technologique n'a pas obligé les enseignantes à mobiliser des stratégies d'ajustement de taille. Il a plutôt permis de résoudre des problèmes qui existaient avant son introduction. En prenant du recul sur leur classe et en étant davantage dans une posture de « lâcher prise », les enseignantes ont davantage de temps pour réfléchir à leur façon traditionnelle d'enseigner et de gérer la classe. Une enseignante affirme : *« Moi, j'avais déjà pensé à différentes solutions enfin ces élèves qui restent à lever la main pendant longtemps c'est toujours embêtant il y a le système d'écrire les noms au tableau, mais ils doivent toujours se déplacer [...] et pis, dans une classe [...] ils plantaient la règle dans la trousse en fait pour qu'elle tienne verticalement et puis c'était comme ça qu'ils demandaient la parole alors j'avais déjà réfléchi à certaines solutions et puis c'est vrai que ben du coup ça répondait en tout cas moi personnellement à un de mes questionnements. »*

Sur l'ensemble, les propos des enseignants rendent compte de la mobilisation d'une combinaison de stratégies d'ajustement proactives et réactives synthétisées dans le tableau 1, selon le modèle de Lazarus et Launier (1978). C'est grâce à ce bricolage fait d'ingéniosité et d'engagement que les enseignants parviennent à apporter des solutions pratiques aux difficultés qu'ils rencontrent dans l'utilisation des TIC.

Tableau 1 · stratégies d'ajustement mobilisées par les enseignants lors de l'introduction d'un nouvel outil technologique

<p>Stratégies d'ajustement centrées sur le problème ou la tâche</p> <p>Stratégies proactives</p> <ul style="list-style-type: none">• Recherche d'informations sur l'outil et son utilisation• Davantage de préparation des cours, concevoir de nouvelles activités, investissement en temps et en énergie• Anticipation des contingences possibles• Préparation d'une solution de rechange, d'un plan B• Mobiliser son équipement personnel <p>Stratégies réactives</p> <ul style="list-style-type: none">• Posture de contrôle de la part de l'enseignant• Mise en place de nouvelles règles, de manières de fonctionner dans la classe
<p>Stratégies d'ajustement centrées sur la recherche de soutien social</p> <p>Stratégies proactives et réactives</p> <ul style="list-style-type: none">• Solliciter le responsable TIC de l'établissement• Solliciter des collègues• Solliciter les parents des élèves• Solliciter des amis ou partenaires
<p>Stratégies d'ajustement centrées sur l'émotion</p> <p>Stratégies réactives</p> <ul style="list-style-type: none">• Évitement, retour à un enseignement traditionnel

5. Discussion et conclusion

Cet article synthétise les résultats de trois études de cas portant sur l'introduction d'un nouvel outil technologique dans l'enseignement au niveau primaire ou secondaire. Il s'agit respectivement d'une plateforme Internet d'apprentissage à l'écriture et la lecture, de tablettes numériques et de lanternes de gestion de classe. Les résultats mettent en évidence les avantages que les enseignants voient à une telle utilisation et les difficultés auxquelles ils font face. Nous avons également présenté les ressources et les stratégies d'ajustement mobilisées par les enseignants engagés dans ces processus d'innovation.

Nos résultats rejoignent les constats de différentes recherches qui montrent que l'introduction d'un nouvel outil dans l'enseignement modifie en partie les pratiques, le rôle et la posture de l'enseignant (Lameul, 2019 ; Lebrun, 2002 ; Tardif, 1998). Il ressort des propos des enseignants qu'ils s'investissent désormais dans des rôles d'accompagnateur et de facilitateur de l'utilisation des technologies. Ce changement de rôle implique une augmentation de l'autonomie des apprenants, qui se voient transférer une partie du contrôle de leur apprentissage. La configuration de

la classe et les échanges se modifient également pour gagner en souplesse et diversité. Toutefois, les changements se font de manière progressive et subtile. Souvent, ils restent du domaine des micro-innovations (Tricot, 2017) ou des innovations ordinaires (Cros et Broussal, 2020). Les enseignants réalisent des gestes nouveaux face une réalité changeante due à l'introduction d'un nouvel outil dont les contours sont également à définir en situation. Il n'y a pas de changement radical, mais plutôt un changement par étapes (innovation incrémentale). La crise sanitaire COVID-19 a cependant montré que ces changements pouvaient s'accélérer et s'étendre de manière radicale en finalement peu de temps.

Les résultats des trois études rejoignent également les constats de Depover et Strebelle (1997) qui soulignent l'importance pour une innovation technologique et pédagogique du soutien des différents systèmes: mésosystème (gestionnaires des locaux, collègues, parents), macrosystème (gestionnaires centraux, centres de formation et communauté de pratique) et périssystème (parents en tant que membres de la société et clubs d'utilisateurs). En ce qui concerne les ressources et stratégies d'ajustement évoquées par les enseignants, nous observons que ces derniers se situent davantage dans un *coping* centré sur le problème et la recherche de soutien social, comme le décrivent Lazarus et Launier (1978). Ces études sont exploratoires, il serait intéressant de les poursuivre auprès d'un échantillon plus large d'enseignants qui innoveront.

En conclusion, notre article souligne les difficultés rencontrées par les enseignants à introduire de nouveaux outils technologiques, mais aussi tout l'intérêt qu'ils trouvent à les surmonter pour parvenir à utiliser les TIC avec leurs classes. Les enseignants manquent souvent d'équipement, rencontrent des problèmes techniques, éprouvent un sentiment de compétence faible et un besoin de formation, et risquent, finalement, de faire face à une gestion de classe difficile. Toutefois, ils mobilisent nombreuses ressources à leur disposition et en demandent des nouvelles. Ils se servent de leur propre équipement ou des appareils apportés par leurs élèves ou empruntés à des collègues. Ils recueillent des informations sur l'utilisation des TIC dans leurs cercles professionnels et privés. Du temps des vacances et des loisirs est souvent consacré à développer de nouvelles compétences et activités pédagogiques en lien avec l'utilisation des TIC. Cette ingéniosité et cet engagement des professionnels pour assurer des enseignements innovants, dans l'intérêt des élèves, sont sans doute au cœur de leur capacité à se dépasser, y compris face à des difficultés exacerbées par la crise sanitaire actuelle.

RÉFÉRENCES

Alavi, H. S. et Dillenbourg, P. (2012). An ambient awareness tool for supporting supervised collaborative problem solving. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5(3), 264-274.

Alter, N. (2013). *L'innovation ordinaire*. PUF.

Arndt, P. A. (2006). Computer usage for learning how to read and write in primary school. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(3), 90-98.

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: the exercise of control*. W. H. Freeman and Company.

Bardin, L. (1977). *L'analyse de contenu*. PUF.

Baron, G.-L. et Bruillard, É. (2004). Quelques réflexions autour des phénomènes de scolarisation des technologies. Dans L. O. Pochon et A. Maréchal (dir.) *Entre technique et pédagogie. La création de contenus multimédia pour l'enseignement et la formation* (p. 154-161). IRDP.

Bernard, F. et Fluckiger, C. (2019). Innovation technologique, innovation pédagogique: Éclairage de recherches empiriques en sciences de l'éducation. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 63(1), 3-10. <https://doi.org/10.3917/spir.063.0003>

Boéchat-Heer, S. (2018). Formation et sentiment d'auto-efficacité des enseignants en compétence informatique et médiatique. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 40(2), 391-404.

Boéchat-Heer, S. et Arcidiacono, F. (2014). L'usage des méthodes mixtes pour analyser les perceptions de pratiques pédagogiques liées à l'intégration de tablettes numériques. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 17, 49-65.

Boéchat-Heer, S., Padiglia, S. et Miserez-Caperos, C. (sous presse). Innover en utilisant l'outil "Lanterne" pour favoriser la gestion de la classe. Dans I. Capron-Puozzo et A. Vuichard (dir.), *L'innovation pédagogique: de la théorie à la pratique*. Éditions Alphil & Éditions Alphil-Presses universitaires suisses.

CDIP (2018). *Stratégie numérique pour la gestion de la transition numérique dans le domaine de l'éducation*. CDIP.

CIIP (2018). *Adoption d'un plan d'action et lancement des travaux de coopération en faveur de l'éducation numérique dans l'espace latin de la formation*. CIIP.

Cros, F. (1996). Définitions et fonctions de l'innovation pédagogique. Le cas de la France de 1060 à 1994. Dans M. Bonami et M. Garant (dir.), *Systèmes scolaires et pilotage de l'innovation. Émergence et implantation du changement* (p. 15-31). De Boeck.

Cros, F. et Broussal, D. (2020). Changement et innovation en éducation: deux notions en résonance. *Éducation et socialisation*, 55. <http://journals.openedition.org/edso/8911>

Depover, C. et Strebelle, A. (1997). Fondements d'un modèle d'intégration des activités liées aux nouvelles technologies de l'information dans les pratiques éducatives. Dans G.-L. Baron et E. Bruillard (dir.), *Informatique et éducation: regards cognitifs, pédagogiques et sociaux* (p. 9-20). INRP.

Dillenbourg, P., Zufferey, G., Alavi, H. S., Jermann, P., Do-Lenh, S., Bonnard, Q., Cuendet, S. et Kaplan, F. (2011). *Classroom orchestration: The third circle of usability*. Dans Proceedings of the Connecting Computer-Supported Collaborative Learning to Policy and Practice Conference (CSCL2011) (vol. 1, p. 510-517).

Fullan, M. (1985). Change processes and strategies at the local level. *Elementary School Journal*, 85, 391-421.

Gather Thurler, M. (2004). Stratégies d'innovation et place des acteurs. Dans J.-P. Bronckart et M. Gather Thurler (dir.), *Transformer l'école* (p. 99-115). De Boeck.

Hartmann, A. (2008). Les orientations nouvelles dans le champ du *coping*. *Pratiques psychologiques*, 14, 285-299. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prps.2008.01.002>

Karsenti, T. et Collin, S. (2012). *Avantages et défis inhérents à l'usage des ordinateurs au primaire et au secondaire. Résultats de la 2^e enquête auprès de la Commission scolaire Eastern Townships*. CRIFPE.

Karsenti, T. et Fievez, A. (2013). *L'Ipad à l'école : usages, avantages et défis. Résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Québec (Canada). Rapport préliminaire des principaux résultats*. CRIFPE.

Lameul, G. (2019). Posture : une notion centrale pour la compréhension de l'activité des acteurs dans les dispositifs de formation : étude de sa conceptualisation au fil de plusieurs projets de recherche, *Éducation & Formation*, 313, 93-104.

Laugaa, D. et Bruchon-Schweitzer, M. (2005). L'ajustement au stress professionnel chez les enseignants français du premier degré. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 34(4), 499-519.

Lazarus, R.-S. et Folkman, S. (1984). Coping and adaptation. Dans W.D. Gentry (dir.), *Handbook of behavior medicine* (p. 282-325). Guilford.

Lazarus, R.-S. et Launier, R. (1978). Stress related transactional between person and environment. Dans L. A. Pervin et M. Lewis (dir.), *Perspectives in interactional psychology* (p. 287-327). Plenum.

Lameul, G. (2019). Posture : une notion centrale pour la compréhension de l'activité des acteurs dans les dispositifs de formation : étude de sa conceptualisation au fil de plusieurs projets de recherche, *Éducation & Formation*, 313, 93-104.

Lebrun, M. (2002). *Théories et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre : quelle place pour les TIC dans l'éducation ?* De Boeck.

Leclerc, M. (2003). Étude du changement découlant de l'intégration des technologies de l'information et de la communication dans une école secondaire de l'Ontario. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 29(1). <https://doi.org/10.21432/T2KK6D>

Lecomte, J. (2004). Les applications du sentiment d'efficacité personnelle. Dans J. Beillerot (dir.), *Autour de l'œuvre de Bandura* (p. 51-58). L'Harmattan.

Lison, C., Bédard, D., Beaucher, C. et Trudelle, D. (2014). De l'innovation à un modèle de dynamique innovatrice en enseignement supérieur. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 30(1). <http://journals.openedition.org/ripes/771>

Maroy, C. (1995). L'analyse qualitative d'entretiens. Dans L. Albarello, F. Digneffe, J.-P. Hiernaux, et C. Maroy (dir.), *Pratiques et méthodes de recherche en sciences sociales* (p. 83-110). Armand Colin.

Marshall, C. et Rossman, G. (1995). *Designing qualitative research*. Sage.

Miles, M. B. et Huberman, A. M. (2015). *Analyse des données qualitatives*. De Boeck.

Miserez-Caperos, C., Padiglia, S. et Boéchat-Heer, S. (2017). Les perceptions des enseignants sur la formation et l'utilisation d'une plateforme interactive sur Internet. Dans F. Pasche-Gossin et G. Melfi (dir.), *Synergie entre recherche, formation et enseignement* (p. 123-137). Éditions HEP-BEJUNE.

Mishra, P., et Koehler, M.J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Records*, 108(6), 1017-1054.

Morais, M. A. (2001). *Les 5 niveaux d'appropriation des technologies de l'information et de la communication chez les enseignantes et les enseignants*. District scolaire n° 1.

OCDE. (2015). *Connectés pour apprendre. Les élèves et les nouvelles technologies*. Rapport PISA. OCDE.

OCDE. (2018). *Le futur de l'éducation et des compétences. Projet Éducation 2030*. OCDE.

Paniagua, A. et Istance, D. (2018). *Teachers as Designers of Learning Environments: The importance of Innovative Pedagogies*. *Educational Research and Innovation*. OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264085374-en>

Raby, C. (2005). Processus d'intégration des technologies de l'information et de la communication. Dans T. Karsenti et F. Larose (dir.), *L'intégration des TIC dans le travail enseignant* (p. 79-94). Presses de l'Université du Québec.

Schwarzer, R. et Knoll, N. (2002). Positive coping: Mastering demands and searching for meaning. Dans S. J. Lopez et C. R. Snyder (dir.), *Positive psychological assessment: A handbook of models and measures* (p. 393-409). American Psychological Association.

Tardif, J. (1998). *Intégrer les nouvelles technologies de l'information: quel cadre pédagogique ?* ESF éditeur.

Thurston, W. E., Cove, L. et Meadows, L. M. (2008). Methodological congruence in complex and collaborative mixed method studies. *International Journal of Multiple Research Approaches*, 2(1), 2-14.

Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Retz, collection Mythes et réalités.

Zimmerman, B.J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. Dans M. Boeckaerts, P. R. Pintrich et M. Zeidner (dir.), *Handbook of self-regulation* (p. 13-39). Academic Press.



Comment construire un processus d'évaluation en EIAH fondé sur le *Design-Based Research* ?

► **Nadine MANDRAN, Maelle PLANCHE** (Laboratoire informatique de Grenoble LIG), **Patricia MARZIN-JANVIER** (CREAD-Université de Bretagne occidentale), **Mathieu VERMEULEN** (IMT Lille Douai), **Aous KAROUÏ, Cédric d'HAM, Isabelle GIRAULT, Claire WAJEMAN, Christian HOFFMANN** (Laboratoire informatique de Grenoble LIG)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article propose un modèle de méthode pour construire un processus d'évaluation d'une plateforme numérique pour l'enseignement en contexte réel dans le temps. Les objectifs de cette évaluation sont : répondre aux attentes des enseignants-utilisateurs, fournir des données pour la recherche, faire évoluer techniquement la plateforme et fournir à l'institution, financeur du projet, des retours sur son utilisation. Nous illustrons cette méthode avec le projet LabNbook, concernant 157 enseignants et plus de 4 500 étudiants. La méthode incluant les sept propriétés du *Design-Based Research* (DBR), nous dressons en conclusion un bilan de l'utilisation de ces dernières.

■ **MOTS-CLÉS** • méthode, évaluation longitudinale, *Design-Based Research*.

■ **ABSTRACT** • *This paper proposes a method model to build a process for evaluating a digital learning platform in a real context over time. The objectives of this evaluation are: to meet the expectations of teachers, to provide data for research, to make the platform evolve technically and to provide the institution funding the project with feedback on its use. We illustrate this method with the LabNbook project involving 157 teachers and more than 4500 students. As the method includes the seven properties of Design-Based Research (DBR), we finally report on the use of these properties.*

■ **KEYWORDS** • *method, longitudinal evaluation, Design-Based Research.*

1. Introduction et contexte

Dans le cadre des environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) et plus particulièrement de l'usage de plateformes numériques pour l'enseignement, l'évaluation de l'impact d'une telle plateforme est fondamentale pour rendre compte de sa diffusion et de son utilité. Ces évaluations permettent de recueillir des mesures et des données utiles pour les institutions (Rectorat, Université, etc.) qui en promeuvent l'utilisation, pour avoir un retour sur la diffusion et l'utilisation d'un EIAH donné. En outre, ces plateformes numériques sont parfois construites à partir de cadres théoriques et leur utilisation en contexte réel est l'occasion de produire des données pour répondre à des problématiques de recherche. Ces données fournissent aussi des informations pour faire évoluer les aspects techniques et l'ergonomie des plateformes. Les évaluations peuvent également répondre à des besoins des enseignants, en fournissant par exemple des informations sur l'activité de leurs élèves. Ces évaluations doivent être conduites dans le temps pour étudier les évolutions induites par l'utilisation et l'appropriation de la plateforme par les utilisateurs.

Le problème qui se pose est alors de savoir comment construire une évaluation longitudinale qui puisse répondre à ces différents besoins : 1) les attentes des financeurs du projet, 2) les besoins des enseignants, 3) la production de données pour la recherche et 4) l'amélioration technique de la plateforme. Ce problème est d'autant plus difficile que les personnes ayant à conduire ces évaluations sont rarement formées aux méthodes de production des données des sciences humaines et sociales (p.ex., questionnaires, entretien, focus groups, etc.).

Cet article propose une méthode adaptable pour construire un processus d'évaluation longitudinale (PEL) d'une plateforme numérique conçue dans un cadre de recherche et financé par une institution. Nous présentons les différentes étapes et les outils nécessaires pour construire ce type d'évaluation. Trois questions de recherche conduisent cet article :

- 1) Quelles sont les particularités de l'évaluation des EIAH dans un contexte de recherche ?
- 2) Quelles sont les méthodes de production de données adéquates ?
- 3) Comment construire un tel processus afin de produire des données pertinentes pour l'ensemble des acteurs du projet ?

Ces questions de recherche, bien qu'elles soient généralisables à tout EIAH, sont, dans notre cas, issues du cadre théorique et d'un contexte spécifique à un projet de plateforme numérique d'apprentissage dans le

supérieur. En effet, pour illustrer les étapes de cette méthode, nous l'appliquons au cas du projet LabNbook (LNB). L'objectif est la conception et la diffusion de la plateforme LNB dédiée à l'enseignement des sciences expérimentales (biologie, physique, chimie, géologie, etc.). Actuellement, cette plateforme est utilisée par 157 enseignants du supérieur et près de 4 500 étudiants. Les propriétés proposées par Wang et Hannafin (2005) dans le cadre du *Design-Based Research* serviront à élaborer ce processus.

L'article est structuré en cinq sections. Tout d'abord, nous dressons un état de l'art sur l'évaluation des plateformes numérique en EIAH. Ensuite, nous nous positionnons par rapport à une évaluation en contexte de recherche ancrée dans le terrain ayant besoin de produire des données. Nous poursuivons sur la présentation de la méthode de construction du processus d'évaluation longitudinale (PEL) et de son illustration par le projet LNB. Nous ferons ensuite un retour sur les avantages et les limites de ce PEL. Nous concluons sur une série de questionnements à propos de ces évaluations en contexte de recherche et plus particulièrement sur les propriétés du *Design-Based Research* (DBR).

2. Évaluation des plateformes et DBR

Dans cette section, nous présentons un état de l'art sur les évaluations des plateformes en EIAH. Depuis l'apparition des premières plateformes de type *e-learning*, leurs méthodes d'évaluation ont évolué au fil des années. Ainsi, les approches utilisées au départ se concentraient principalement sur l'utilisabilité, en vérifiant le respect des normes théoriques (Rentroia-Bonito et Jorge, 2003 ; Nielsen, 1994). Dans un deuxième temps, il y a eu plus de synergie entre les recherches sur l'utilisabilité et celles sur les EIAH en associant des tests-utilisateurs à des évaluations ergonomiques de la part d'experts (Granić et Ćukušić, 2011). Plus récemment, dans une métaétude portant sur 30 plateformes numériques, Donnelly *et al.* mettent en avant une liste de critères pour identifier des plateformes efficaces (2014), comme les fonctionnalités fournies aux enseignants, l'impact sur l'apprentissage, le développement de l'autonomie des apprenants et de pratiques d'apprentissage métacognitives, et la mise en œuvre de la collaboration. Issus de la comparaison des impacts de plusieurs plateformes sur l'apprentissage, ces critères peuvent paraître spécifiques aux plateformes numériques. Cependant ils négligent les aspects d'utilisabilité. Toutefois, ces travaux portent le plus souvent sur des évaluations ponctuelles qui ne sont généralement pas conduites en situations réelles, ni sur le long terme.

Le *Design-Based Research* a été proposé par Collective (2003) et Collins, (1992), pour conduire des recherches en situation réelle. Wang et Hannafin (2005) ont étudié des recherches de terrain selon sept propriétés.

- 1) Pragmatique : il s'agit de faire progresser, d'une part, les contributions scientifiques dans l'enseignement et dans l'apprentissage et, d'autre part, la pratique des enseignants ;
- 2) Fondée sur le terrain : la recherche est conduite en « *real world where participants interact socially* » (Wang et Hannafin, 2005) ;
- 3) Interactive : les chercheurs, les enseignants, les élèves et/ou les décideurs travaillent ensemble afin de faire émerger la connaissance scientifique et la mise en œuvre de cette connaissance dans le monde réel ;
- 4) Itérative : il s'agit de différentes périodes au cours desquelles des allers-retours entre recherche et terrain vont être réalisés ;
- 5) Flexible : c'est la possibilité de faire évoluer la question de recherche par l'analyse des données expérimentales ;
- 6) Intégrative : le DBR intègre différentes méthodes de production et d'analyse des données ;
- 7) Contextuelle : il s'agit de la nécessité de faire le lien entre les résultats et le contexte dans lequel les données et les résultats ont été produits.

Plusieurs contextes doivent être étudiés ; cette multiplicité de contextes permet de garantir la « généricité » des résultats et d'augmenter leur niveau de validité. À la suite de cette analyse, les auteurs discutent 9 principes rarement repris dans la littérature. Un dixième principe a été ajouté par Mandran *et al.* (2021) pour la mise en place d'indicateurs d'objectifs, afin de suivre et piloter les itérations.

Le DBR tend à se diffuser dans la communauté des EIAH et, bien que cette méthode soit basée sur des propriétés, elle reste sujette à de nombreuses interprétations. À ce propos, lors d'une conférence, une chercheuse a résumé la situation par « *on fait tous du DBR, car l'on mixe les méthodes de production de données, on travaille in situ, on fait des itérations, on intègre tous les utilisateurs, mais en dehors de ça ?* » En effet, les propriétés bien que pertinentes restent difficiles à implémenter, car le DBR n'est pas décrit comme un processus et ne propose pas d'outils (Herrington *et al.*, 2007 ; McKenney et Reeves, 2019). Ces auteurs ont également proposé des processus et des outils pour accompagner cette méthode. Cependant, les propriétés du DBR ne sont pas clairement mises en lien avec les étapes des processus proposés.

Dans ces travaux, nous avons identifié des évaluations d'utilisabilité, d'utilité des dispositifs pour l'apprentissage et des méthodes d'évaluation itératives. En revanche, nous n'avons pas trouvé de processus d'évaluation longitudinale, c'est-à-dire d'organisation dans le temps de ces évaluations ni d'évaluation qui réponde à plusieurs objectifs. Pour répondre à ce manque, nous proposons un processus d'évaluation longitudinal en lien avec les propriétés du DBR.

3. Positionnement de nos travaux

Avant de présenter la manière dont nous pouvons envisager la construction d'un processus d'évaluation dans les EIAH, nous tenons à préciser notre positionnement sur ce que signifie «évaluer dans un contexte de recherche en EIAH» et sur la production des données.

3.1. Évaluer dans un contexte de recherche en EIAH

L'un des objectifs de l'utilisation des plateformes en EIAH étant de produire des données pour la recherche, il convient de choisir une posture épistémologique pour cadrer le processus de création des connaissances scientifiques, leur domaine de validité et leur mise en œuvre dans le monde réel. Il s'agit ici de la posture du chercheur vis-à-vis de l'élaboration d'une connaissance scientifique, d'un savoir et non du cadre de transmissions des savoirs par un enseignant (De Vries et Baillé, 2006). Nous avons souvent observé une confusion entre ces deux « formes » d'épistémologie et c'est pourquoi nous tenons à préciser ici notre posture épistémologique de chercheur. « *Pour un chercheur, expliciter sa posture épistémologique dans un projet de recherche, c'est alors préciser les hypothèses fondamentales sur lesquelles se fonde le processus d'élaboration et de justification des connaissances dans le projet considéré.* » (Avenier et Thomas, 2015). Présenter ce cadre épistémologique du chercheur dans les publications de recherche est indispensable pour conduire une démarche scientifique rigoureuse, car le chercheur se positionne sur sa manière de construire de la connaissance et sur les critères de validité de ses travaux. Par exemple, pour étudier l'impact d'une plateforme en EIAH, nous avons besoin de mener nos investigations sur du long terme dans un contexte réel auprès de plusieurs utilisateurs (étudiants et enseignants) qui vont être amenés à utiliser cette plateforme et à modifier leurs manières d'enseigner ou d'apprendre. Dans ce contexte, le recours aux plans expérimentaux classiques de la statistique inférentielle n'est pas suffisant. Nous avons besoin de mobiliser à la fois des données qualitatives pour comprendre par exemple les activités des enseignants et des données quantitatives pour

dénombrer. Mobiliser ces deux démarches de production de données pour répondre à des objectifs de recherche demande de choisir un cadre épistémologique qui autorise cette mixité. Cette approche pluriméthodes (entretien, questionnaires, traces, etc.) offre au chercheur la possibilité de mobiliser toutes les sources de données pour circonscrire et étudier une question de recherche. Balacheff et Lund (2013) proposent ce positionnement au travers du terme « multi vocalité ».

Pour choisir un cadre épistémologique, nous proposons tout d’abord d’identifier quels connaissances et/ou outils sont produits durant ces travaux. La recherche outillée avec une plateforme numérique peut s’apparenter à une recherche en informatique centrée humain (RICH). Cette recherche se base sur l’activité humaine pour créer des dispositifs supports à cette activité. Elle produit d’une part une contribution scientifique (p. ex., modèle de l’apprenant, modèle de scénarios, etc.) et d’autre part des outils activables pour accompagner l’activité humaine (par ex., une interface, une plateforme, etc.) (Mandran, 2018). La plateforme informatique est un outil activable dans le sens où l’utilisateur va réaliser une activité avec l’outil (p. ex., enseigner, répondre à des questions pour produire un rapport, développer des scénarios d’apprentissage, produire des ressources pédagogiques, etc.).

La connaissance scientifique et l’outil sont entrelacés et interdépendants (Simon, 1996/2004 ; Avenier, 2019). L’utilisation de l’outil activable dans la réalité contribue au raffinement de connaissances ou à la création de connaissances. La figure 1 représente ce cadre de recherche.

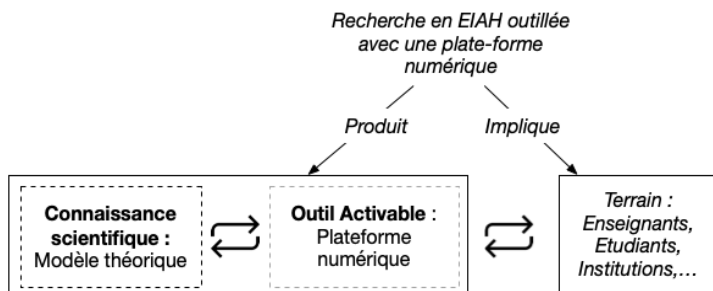


Figure 1 • Proposition d’un cadre pour une recherche en EIAH

Dans le cadre de la recherche en EIAH, il convient de décrire aussi le cadre théorique de l’apprentissage sur lequel s’appuie la construction de la plateforme et de ses fonctionnalités. Les cadres théoriques explicitent les

concepts manipulés par le chercheur, permettent d'élaborer des indicateurs à mesurer sur le terrain et de faire une interprétation cohérente des données recueillies en vue de répondre aux hypothèses posées. Dans le cas de la didactique des sciences, différents cadres existent. Ils sont souvent mobilisés en fonction des problématiques (Lhoste et Orange, 2015).

La posture épistémologique du chercheur, telle que décrite précédemment, et le cadre théorique de l'apprentissage doivent être choisis avant d'initier tout processus d'évaluation, afin d'obtenir des données pour répondre à des questions de recherche.

3.2. Données et outils de mesures

Dans cette section, nous indiquons notre positionnement sur certains concepts liés aux données. Pour répondre à une problématique de recherche, des données doivent être recueillies ou produites. Selon l'OCDE : « Les données de la recherche sont définies comme des enregistrements factuels (chiffres, textes, images et sons), qui sont utilisés comme sources principales pour la recherche scientifique et sont généralement reconnus par la communauté scientifique comme nécessaires pour valider les résultats de la recherche ». Le concept d'*enregistrement factuel* traduit la nécessité de garder une trace d'une observation réalisée sur le terrain pour valider des résultats scientifiques. Mais cette définition ne précise rien sur la nature des données. D'autres définitions sur les données existent, mais elles restent relativement larges et sont dépendantes des domaines scientifiques.

Nous avons donc choisi un positionnement vis-à-vis de ces concepts de données et de mesures. Nous faisons la distinction entre des données qui existent avant la recherche et celles qui seront produites par la recherche. Par exemple, un support de cours (comme un manuel scolaire) est une « **donnée existante** » hors du contexte de la recherche, que le chercheur peut mobiliser pour répondre à ses questions. Le terme de « **donnée mesurée** » sera utilisé pour désigner les données construites par et pour le chercheur sur la base de travaux théoriques (p. ex., une note d'utilisabilité). Ces deux notions font la distinction entre ce qui est créé dans une démarche scientifique et ce qui est issu du terrain indépendamment d'une question de recherche.

Pour produire ces données mesurées, à l'instar des sciences expérimentales, le chercheur conçoit **un outil de mesures** pour recueillir des données. Il peut s'agir d'un questionnaire ou d'un guide d'entretien.

**Nadine MANDRAN, Maelle PLANCHE Patricia MARZIN-JANVIER
Mathieu VERMEULEN, Aous KAROUI, Cédric d'HAM, et al.**

Lors de la passation d'entretiens, les guides d'entretien garantissent la reproductibilité de la méthode. Il en est de même pour les questionnaires lors d'enquêtes. Un autre chercheur peut utiliser ces mêmes outils pour la même question de recherche.

Pour la production des données mesurées, nous faisons également deux autres distinctions. D'une part, nous distinguons la démarche **qualitative** de la démarche **quantitative**. La démarche qualitative (Paillé et Mucchielli, 2011) permet de comprendre et d'identifier des phénomènes. Le nombre d'utilisateurs consultés est généralement faible (entre 6 et 20 personnes). En revanche, la variété des profils est importante pour observer un maximum de cas. Les méthodes de production des données sont, par exemple, des observations *in situ*, des entretiens ou des *focus groups*. Les méthodes d'analyse des données mesurées sont alors du codage de corpus, de l'analyse thématique ou de l'analyse textuelle. La démarche quantitative (Creswell, 2013) permet de quantifier des faits ou des avis. La sélection des individus repose soit sur une méthode d'échantillonnage (i.e. quotas, aléatoire) soit sur un recensement. Dans ce cas, l'ensemble des personnes est consulté. Les données mesurées sont, par exemple, des traces d'activités ou des réponses à des questionnaires. Les méthodes d'analyse des données sont des analyses statistiques et des visualisations.

D'autre part, pour caractériser la nature des mesures, nous distinguons la nature **factuelle** de la nature **déclarative** des données mesurées. Les mesures factuelles résultent de l'observation de faits ou d'activités. Elles sont mesurées par des traces d'activité sur la plateforme ou des captures vidéo de séances d'enseignement. Les mesures déclaratives reposent sur l'expression des enseignants et des étudiants sur leurs expériences et leurs perceptions. Elles sont recueillies par des questions dans des questionnaires ou lors d'entretiens.

4. Comment construire un Processus d'évaluation longitudinale (PEL) ?

La méthode que nous proposons a pour objectif de guider des chercheurs dans la construction d'un PEL afin de répondre aux quatre objectifs décrits précédemment (institution, enseignement, technique et recherche). Pour la formaliser, nous utilisons le modèle de méthode THEDRE (*Traceable Human Experiment Design REsearch*) (Mandran, 2018 ; Mandran et Dupuy-Chessa, 2017), qui a été conçu pour apporter des outils de traçage à des travaux conduits dans le domaine de l'informatique impliquant l'humain. Il est fondé sur la théorie du constructivisme

pragmatique, de la démarche qualité et de la démarche centrée utilisateur. Il permet de dresser une liste de tâches pour conduire un processus de recherche et de lui adjoindre des outils facilitateurs (p. ex., un guide pour rédiger un protocole de production des données). Dans le cadre de cet article, nous présentons notre méthode de construction du PEL sous la forme d'une liste de tâches structurée en six temps (figure 2).

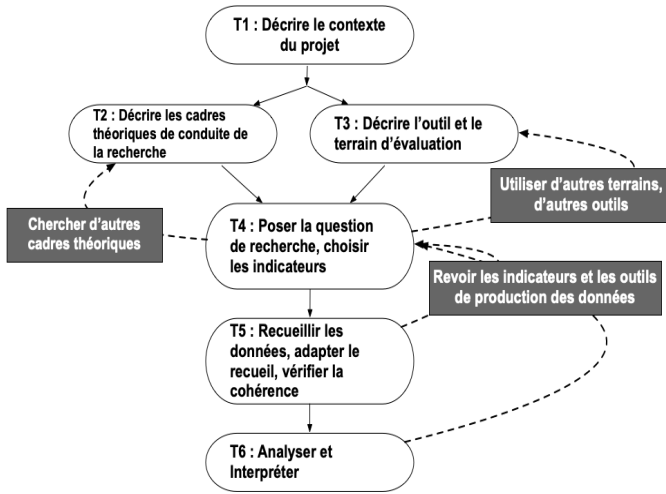


Figure 2 · Description du processus de construction d'un dispositif d'évaluation d'une plateforme numérique en EIAH

Avant d'exemplifier ce processus par le cas de la plateforme LabNbook, nous expliquons chacune des tâches pour présenter et expliciter le processus dans sa globalité.

TEMPS 1 : « Décrire le contexte du projet »

- T1.1 : Décrire l'organisation du projet et pour qui l'évaluation doit être réalisée. Cette étape permet de circonscrire les objectifs du projet, les personnes impliquées et les contraintes. Elle permet aussi d'identifier à quels acteurs du projet l'évaluation fournira des informations et dans quelle finalité.

- T1.2 : Se mettre en accord avec les règles éthiques et de déontologie ainsi qu'avec la réglementation de production des données.

TEMPS 2 : « Décrire les cadres théoriques de conduite de la recherche »

- T2.1 : Choisir une posture épistémologique pour construire la connaissance scientifique (voir 3.1).

- T2.2: Choisir une méthode de conduite de la recherche. Identifier des principes ou des processus à suivre pour conduire une recherche. (par ex., *Design-Based Research*).

- T2.3: Décrire dans quel cadre théorique de l'apprentissage l'outil numérique a été élaboré et dans lequel il sera évalué. Il s'agit de décrire le cadre épistémologique de transmission des savoirs, ainsi que d'autres cadres théoriques de référence. Ces cadres permettent d'élaborer des questions de recherche et d'avoir des moyens de produire et d'analyser les données.

TEMPS 3 : « Décrire l'outil et le terrain d'évaluation »

- T3.1: Décrire l'outil numérique et ses fonctionnalités. Cette description permet d'identifier les fonctionnalités à évaluer.

- T3.2: Décrire comment le terrain sera pris en compte, avec quels utilisateurs, et les contraintes inhérentes à ce terrain. Il s'agit d'identifier les utilisateurs à impliquer et leurs contraintes, de manière à anticiper les problèmes de recrutement ou de calendrier et trouver des alternatives. Les biais expérimentaux sont décrits dans cette étape.

TEMPS 4 : « Poser les questions de recherche, choisir les indicateurs »

- T4.1: Poser les questions de recherche. En lien avec les cadres théoriques de l'apprentissage mobilisés et l'outil proposé, il s'agit de rédiger la problématique, les questions de recherche auxquelles l'évaluation apportera des réponses.

- T4.2: Choisir les indicateurs, construire une liste de mesures à prendre sur le terrain en lien avec ces indicateurs, les répertorier par objectifs.

- T4.3: Choisir les types de données à produire en lien avec la posture épistémologique, la méthode de conduite de la recherche (p. ex., *Design Based Research*) et la démarche de production des données (p. ex., qualitatif, quantitatif, mixte, etc.).

- T4.4: Identifier les données existantes sur le terrain, à recueillir auprès des acteurs.

- T4.5: Construire les outils de mesures associés, les tester et les améliorer. Il s'agit de disposer des outils suffisamment décrits et évalués avant la production des données sur le terrain. Ce travail est le plus souvent itératif. Les biais expérimentaux sont complétés dans cette étape.

- T4.6: Schématiser le processus. Il s'agit d'avoir une vue globale des étapes, des objectifs et des méthodes de production des données. Représenter graphiquement le processus d'évaluation pour le suivre, le partager, le diffuser.

TEMPS 5 : « Recueillir les données, adapter le recueil et vérifier la cohérence »

- T5.1 : Recueillir les données existantes et mesurées sur le terrain.
- T.5.2 : Faire un bilan sur les données recueillies et un diagnostic sur les outils de mesures, les adapter, les améliorer, les supprimer. Il s'agit de vérifier que les données recueillies sont cohérentes avec les objectifs fixés et que les outils de mesures sont adaptés à la situation.

À la suite de ce temps de recueil, une dernière étape consiste à analyser et interpréter les données. Ce sixième temps ne sera pas exemplifié dans cet article. Cependant, à titre indicatif, nous proposons trois tâches.

TEMPS 6 : « Analyser et interpréter »

- T6.1: Réaliser une analyse descriptive des données recueillies. L'objectif est d'avoir un premier état des lieux des données recueillies. Cette analyse permet d'avoir un premier niveau d'interprétation de ce qui a été mesuré. Elle offre déjà la possibilité de répondre à la question de recherche, voire de la compléter, la raffiner.

- T6.2: Choisir les méthodes d'analyse en lien avec le type de données ou de mesures recueillies. Le choix de ces méthodes d'analyse permet d'élaborer un plan de traitement des données et de le documenter.

- T6.3: Analyser les données et mesures, interpréter les résultats.

Globalement les six temps doivent se conduire dans l'ordre, car ils dépendent les uns des autres. En effet, il est nécessaire d'explicitement le contexte du projet et les cadres théoriques pour choisir les indicateurs répondant aux objectifs. Cependant des allers-retours entre les différents temps sont possibles comme exposé sur la figure 2. Poser la question de recherche et le choix des indicateurs peut demander de revenir interroger les cadres théoriques pour raffiner la question et choisir d'autres indicateurs. Le recueil de données peut demander de revoir les outils de production utilisés. Un problème de terrain peut demander de choisir un autre terrain d'évaluation ou une autre plateforme numérique. Quant aux tâches à l'intérieur des temps, elles peuvent se conduire en parallèle et de manière itérative. Par exemple, la création d'un questionnaire va réinterroger les indicateurs à produire.

5. Application au Projet IDEX – LabNbook (LNB)

Cette section présente une illustration de la construction d'un processus d'évaluation au travers du projet LNB.

5.1. TEMPS 1 : Décrire le contexte du projet

Le processus d'évaluation dont il est question ici a été construit dans un contexte de projet financé par l'IDEX formation de l'Université Grenoble Alpes autour de la plateforme LNB. L'objectif pédagogique de LNB est de former les étudiants à la démarche expérimentale en sciences. Cet outil a pour finalité d'accompagner des enseignants des sciences expérimentales dans la conception d'enseignements centrés sur l'étudiant et de permettre aux étudiants de produire de façon collaborative des écrits scientifiques (p. ex., cahiers de laboratoire, rapports, etc.).

Le projet vise à promouvoir les transformations pédagogiques sur le site universitaire de l'Université Grenoble Alpes (UGA) en particulier vers des pédagogies dites « actives », à l'aide de LNB. L'objectif principal est d'étudier les pratiques des enseignants, les usages et l'appropriation de la plateforme par des enseignants et des étudiants en sciences expérimentales, au fur et à mesure de l'utilisation de LNB. Il doit répondre à quatre acteurs : les financeurs du projet, les enseignants utilisateurs de la plateforme, les chercheurs en didactiques des sciences expérimentales et les développeurs.

L'équipe projet est composée de cinq enseignants-chercheurs qui ont conçu LNB. La programmation et le développement de LNB reposent sur l'un des enseignants-chercheurs et un informaticien. Deux méthodologues contribuent au projet pour la conception et la mise en œuvre du processus d'évaluation. Les objectifs sont 1) de fournir des retours aux financeurs sur l'utilisation et l'impact de la plateforme, 2) de répondre aux attentes et besoins des enseignants, 3) de répondre à des questions de recherche et 4) de fournir des informations aux développeurs pour l'amélioration de la plateforme. La déclaration de conformité au Règlement général de la protection des données (RGPD) et les conditions générales d'utilisation (CGU) ont été rédigées en collaboration avec le responsable de la protection des données de l'UGA.

5.2. TEMPS 2 : Décrire les cadres théoriques de conduite de la recherche

5.2.1. Choisir une posture épistémologique

Notre situation de recherche sur LNB est dépendante de la réalité du terrain, elle ne peut être abordée par des méthodes expérimentales classiques. Par exemple, la présence d'un groupe contrôle versus un groupe expérimental n'est pas envisageable. En effet, si l'utilisation de la plateforme est un avantage pour l'apprentissage, nous ne pouvons pas

concevoir un plan expérimental dans lequel certains étudiants n'auraient pas accès à cette plateforme sous prétexte qu'ils sont des « étudiants-tests ». Cependant en tant que chercheur, il faut garantir la scientificité des résultats pour ces situations de recherche largement répandues dans le contexte de la recherche en éducation.

Pour aborder ces recherches, Avenier et Thomas (2015) proposent d'utiliser le constructivisme pragmatique comme posture du chercheur vis-à-vis du terrain. Cette posture se définit selon cinq hypothèses principales :

- 1) « *l'expérience humaine est observable dans le système auquel elle appartient* ». Dans le cas de LNB, nous pouvons impliquer et observer les étudiants et les enseignants ;
- 2) « *le monde observé concerne l'humain dans un contexte donné* ». Dans notre cas, nous allons observer des étudiants et des enseignants dans une salle de classe ou hors de la classe ;
- 3) « *Ce contexte peut varier ; les actions et les décisions de l'humain peuvent évoluer* ». Avec LNB, les enseignants peuvent choisir de modifier les ressources fournies aux étudiants au cours de l'enseignement ;
- 4) « *La contribution prend la forme de modèles génériques activables* ». Dans notre cas, notre recherche donnera lieu au raffinement d'un modèle théorique de l'apprentissage (voir 5.2.3) ;
- 5) « *La contribution scientifique et les questions de recherche sont flexibles et vont évoluer en fonction du terrain* ».

Dans le constructivisme pragmatique, le but de la construction scientifique est « *d'élaborer des modèles intelligibles de l'expérience humaine, offrant des repères adaptés et viables* », « *La production de connaissances scientifiques contribue à la génération ou au raffinement de connaissances* ». Dans notre cas, nous souhaitons contribuer à l'amélioration d'un modèle d'enseignement des sciences expérimentales selon une pédagogie active outillée par LNB. Concernant la valeur et la validité des résultats, nous nous positionnons sur les propositions du constructivisme pragmatique (Avenier et Thomas, 2015). Ainsi, lors de notre évaluation, nous vérifierons que l'outil est en adéquation avec les activités des enseignants et des étudiants et nous mobiliserons à la fois des méthodes de production de données qualitatives et quantitatives pour cerner au mieux le terrain.

5.2.2. Choisir une méthode de recherche

Les hypothèses de construction de la connaissance scientifique et les critères de valeur et validité étant choisis, il convient de raffiner cette posture dans un cadre dédié à la recherche en éducation outillée par des plateformes numériques. Nous avons choisi le *Design-Based Research* et nous en utiliserons les sept propriétés pour qualifier notre processus d'évaluation lors de la description du terrain d'évaluation.

5.2.3. Décrire le cadre théorique de l'apprentissage

Le propos de l'article n'étant pas les résultats de cette évaluation nous décrivons brièvement les cadres théoriques.

Le cadre théorique de l'apprentissage de LNB repose sur le socioconstructivisme (Vygotsky, 1978). Deux cadres théoriques sous-tendent nos recherches, d'une part le cadre de la théorie des deux mondes (Tiberghien *et al.*, 2009) et d'autre part la « pédagogie active » (Hannafin *et al.*, 1999), auquel nous associons le cadre du *Student-Centered Learning* (SCL) (Freeman *et al.*, 2014). Le cadre de la théorie des deux mondes explique l'apprentissage des sciences expérimentales par la manipulation de relations entre le monde des objets et événements et le monde des théories et modèles; il repose principalement sur deux sources théoriques générales: une approche anthropologique des savoirs et une approche épistémologique de l'enseignant considérant la modélisation du monde physique comme une activité centrale. Ces deux sources complètent l'approche socioconstructiviste. L'approche par pédagogie active est définie comme « *a general design framework to describe environments that support personal sense making via problems contexts enriched with technology tools, resources and scaffolding* » (Hannafin *et al.*, 1999). Ces environnements ont les caractéristiques suivantes: ils visent l'autonomie et l'indépendance de l'apprenant en lui déléguant en partie la responsabilité de son parcours d'apprentissage (Lathika, 2016). En s'appuyant sur ces principes, Land et Oliver (2012) et Lee et Hannafin (2016) ont défini les caractéristiques de ces environnements avec cinq critères:

- critère 1: une situation-problème ou un projet authentique et concret, au regard des apprentissages visés, sont proposés aux élèves, à partir desquels plusieurs solutions sont possibles (Hannafin *et al.*, 1999);
- critère 2: les apprenants doivent pouvoir utiliser leurs connaissances initiales pour entrer dans la tâche;
- critère 3: les ressources peuvent être conceptuelles (les notions en lien avec le problème posé), métacognitives (comment expliciter, réfléchir,

planifier ou contrôler son travail), procédurales (comment utiliser les fonctionnalités), et stratégiques (comment appréhender le problème);

- critère 4 : l'apprenant doit également pouvoir faire des choix et être guidé dans ces choix ;

- critère 5 : l'apprenant doit pouvoir évaluer ce qu'il sait et ce qu'il a besoin de savoir pour atteindre le but visé (Hannafin et Hannafin, 2010).

Ces éléments de cadrage aideront à la construction des questions de recherche et des indicateurs à mesurer sur le terrain lors de l'utilisation de LNB. Ils contribueront au guidage de l'analyse des données (p.ex., construction d'une grille de codage pour l'analyse).

5.3. TEMPS 3 : Décrire l'outil numérique et le terrain

Ce temps est consacré à la description de l'outil numérique utilisé en contexte réel et sur le terrain d'évaluation mobilisé.

5.3.1. Décrire l'outil numérique

En lien avec ces cadres théoriques, qui mettent la focale sur l'apprenant, ses connaissances initiales, et sur l'utilisation de démarches expérimentales pour apprendre, un ensemble de fonctionnalités et d'outils sont proposés sur LNB. La plateforme permet aux étudiants de produire et de partager des cahiers de laboratoire ou des comptes rendus expérimentaux. LNB leur fournit des outils de production et de communication, pour produire des écrits d'une démarche expérimentale. Sur LNB, un même espace de travail peut être partagé par une équipe d'étudiants ; les documents écrits sont le résultat d'un travail collaboratif. Les enseignants construisent une mission (i.e. la situation d'enseignement) qui correspond à l'espace de travail des étudiants. Il est structuré en un ensemble de parties qui sont complétées en mobilisant quatre outils de production, appelés *labdocs* (traitement de textes, dessins, traitement de données, écriture de protocoles expérimentaux) (critère 3). Au moment de configurer la mission, l'enseignant choisit ce qu'il souhaite laisser à la charge de l'étudiant et ce qu'il souhaite guider selon ses priorités pédagogiques. LNB offre diverses possibilités de guidage dans une mission. L'enseignant peut structurer le rapport en choisissant le nombre de parties et les outils mobilisables par l'étudiant, et en proposant des *labdocs* modifiables par les étudiants (ils peuvent être vides et n'indiquer que le titre, ou bien présenter un contenu). Sur LNB, il est possible d'explicitier les objectifs d'apprentissage ou les compétences visés dans différents espaces de la plateforme, de mettre à disposition des étudiants des documents et des consignes de travail

(critère 3). Les enseignants peuvent suivre le travail des étudiants grâce à un tableau de bord et faire des rétroactions sur les productions des étudiants en les annotant, en fonction des réussites, des erreurs et des difficultés identifiées (critères 2, 4 et 5).

5.3.2. Décrire le terrain et les utilisateurs

Le choix du DBR, comme méthode de conduite de la recherche, nous incite à décrire notre terrain selon les sept propriétés du DBR.

Plusieurs chercheurs sont mobilisés autour de la recherche sur LNB. Ils sont eux-mêmes enseignants et utilisent la plateforme avec leurs étudiants. Un d'entre eux est le concepteur de LNB et il participe au développement. (*Propriétés du DBR : interactive*).

Plusieurs types d'utilisateurs sont mobilisés pour évaluer l'impact de LNB (*Propriétés du DBR : interactive*):

- les concepteurs des missions. Il s'agit de responsables d'unité d'enseignement (UE) qui impulsent l'utilisation de LNB et conçoivent les missions qui seront utilisées par les enseignants de l'équipe pédagogique. Nous étudions leurs pratiques et motivations, leur niveau d'appropriation et de satisfaction. Ils sont sollicités pour contribuer à l'amélioration de la plateforme lors de séminaires. Ils font progresser LNB et les questions de recherche (*Propriétés du DBR : interactive*);

- les tuteurs. Il s'agit de l'ensemble des enseignants appartenant aux équipes pédagogiques. Pour chaque enseignement, c'est le concepteur qui leur propose d'utiliser LNB et qui fournit la mission. Il arrive cependant que certains tuteurs adaptent les contenus selon leurs objectifs pédagogiques personnels. Nous quantifions leurs pratiques et motivations, leur niveau d'appropriation et de satisfaction;

- les étudiants. Nous mesurons leur niveau de satisfaction après l'utilisation de LNB et l'apport du *Student Centered Learning* de LNB.

La plateforme est aujourd'hui déployée auprès de 51 unités d'enseignement (UE). Elle a été utilisée par 157 enseignants et 4500 étudiants depuis 2017. Ce contexte est riche et permet de recueillir un nombre important de données. (*Propriétés du DBR : pragmatique, fondée sur le terrain, interactive*).

LNB est utilisé plusieurs fois par les enseignants avec des étudiants différents, dans des disciplines différentes. Cette diffusion permet d'étudier la généricité de LNB (*Propriétés du DBR : contextuelle*).

L'implication et les rôles de ces utilisateurs étant très différents, nous avons besoin de mobiliser à la fois des méthodes qualitatives pour comprendre finement les motivations et les pratiques des concepteurs et des tuteurs et des méthodes plus quantitatives pour analyser le niveau de satisfaction (*Propriétés du DBR : intégrative*).

Le PEL doit mesurer l'impact de la plateforme au fil du temps. Les données doivent donc être recueillies avec une même cohorte d'utilisateurs, à différents moments de leur utilisation : avant, pendant et après utilisation. Ces mesures sont répétées pour chaque semestre. Nous devons pour cela disposer d'outils de mesure qui seront réutilisés au cours du temps. Les résultats obtenus à l'issue de ces phases de recueil de données vont faire évoluer la plateforme, les questions de recherche voire les outils de mesures eux-mêmes (*Propriétés du DBR : itérative et flexible*).

Notre terrain d'évaluation répond aux sept propriétés du DBR. Nous devons maintenant poser les questions de recherche et élaborer des indicateurs qui seront mesurés sur le terrain.

5.4. TEMPS 4 : Poser les questions de recherche, choisir les indicateurs

Dans ce temps nous élaborons les questions de recherche et identifions les données nécessaires pour y répondre.

5.4.1. Poser les questions de recherche

Cinq questions de recherche sont construites à l'aide des cadres théoriques :

- Quels sont les facteurs qui déterminent l'acceptation de la plateforme LNB par les enseignants ?
- Quels supports LNB apporte-elle aux enseignants et apprenants engagés dans des enseignements « centrés étudiant » ?
- Quels sont les types de tâches que les enseignants donnent à réaliser aux étudiants ?
- Quelle forme prend la collaboration entre étudiants pour l'écriture de documents scientifiques sur LNB ?
- Quelles modifications la plateforme LNB induit-elle dans le travail des enseignants et des étudiants ?

5.4.2. Choisir les indicateurs

À partir de ces questions de recherche et des critères définis dans ces cadres (comme la présence d'une activité de résolution de problème déléguée aux élèves), nous construisons les indicateurs à mesurer sur le terrain. L'évolution de ces différents indicateurs nous permettra de répondre aux questions de recherche sur les changements dans les activités.

Nous avons tiré de la littérature plusieurs indicateurs pour répondre aux autres objectifs : « enseignement », « technique » et « institutionnel ». Des indicateurs liés à l'utilisation, l'utilisabilité et la satisfaction ont été choisis et adaptés à notre contexte. Pour l'utilisabilité, nous utilisons l'échelle SUS (Brooke, 1996); pour la mesure de satisfaction, nous mobilisons des travaux en sciences de gestion (Ray, 2001). Les indicateurs d'utilisation de la plateforme sont élaborés par les porteurs du projet pour suivre le projet et tester la plateforme.

Le tableau 1 présente des indicateurs utilisés pour évaluer LNB. La troisième colonne du tableau donne des exemples de données mesurées.

Tableau 1 • Indicateurs et finalités

Indicateurs	Finalité	Exemples de mesures
Utilisation de la plateforme	Mesurer l'utilisation de la plateforme et sa diffusion dans l'institution.	Nombre d'utilisateurs par an, nombre d'unités d'enseignement, etc.
Satisfaction	Mesurer la satisfaction perçue par les étudiants et les enseignants.	Note de satisfaction globale, note de satisfaction sur les ressources fournies, etc.
Utilisabilité	Mesurer si LNB est utilisable par les enseignants et les étudiants. Connaître les difficultés dans l'utilisation.	Échelle de Brooke
Activités	Mesurer les actions réalisées avec LNB par les enseignants et les étudiants.	Liste des actions réalisées par les enseignants, les étudiants
Indicateurs du SCL (références)	Mesurer si les fonctionnalités de type SCL sont perçues par les étudiants et les enseignants.	Fondé sur l'article de Freeman <i>et al.</i> (2014)

5.4.3. Choisir les types de données et les méthodes de production des données

Le cadre épistémologique et la méthode de conduite de la recherche que nous avons choisis nous autorisent à utiliser plusieurs types de méthodes de production de mesures pour investiguer le terrain (*Propriété du DBR: intégrative*). Cette section présente les différentes méthodes retenues en fonction du contexte de notre terrain d'évaluation. Nous utilisons des approches qualitatives pour comprendre et des méthodes quantitatives pour dénombrer.

- Les **entretiens semi-directifs** visent à recueillir le plus précisément possible l'avis des responsables d'UE impliqués dans le projet. Ils ont été réalisés avant utilisation de la plateforme afin d'identifier leurs pratiques et leurs motivations à utiliser LNB. En fin de projet, ils sont de nouveau interrogés sur ces mêmes indicateurs. Un guide d'entretien a été construit pour conduire ces entretiens. Les données recueillies sont de type qualitatif et déclaratif et elles font l'objet d'une analyse thématique.

- Des **cahiers de bord** (Bernhaupt *et al.*, 2008) permettent de suivre les besoins d'aide des enseignants. Ils sont remplis par l'équipe conceptrice de LNB tout au long de l'utilisation. Il s'agit de données qualitatives déclaratives.

- Par les **traces numériques** des enseignants et des étudiants, nous pouvons explorer l'utilisation réelle de LNB et l'évolution de l'utilisation. Ce sont des mesures de type factuel. Pour les enseignants, nous traçons leurs activités sur les missions, sur les productions des étudiants et sur la gestion des étudiants. Pour les étudiants, nous recueillons leurs activités sur les rapports, les ressources, et les échanges.

- L'**observation des « missions »**. Il s'agit de données factuelles produites par l'enseignant sans intervention du chercheur. L'organisation et la modification des missions proposées par les enseignants nous renseignent sur le type de pédagogie mobilisée. Ainsi, pour chaque situation pédagogique proposée, nous regardons la nature du travail demandé aux étudiants et sa place dans le processus pédagogique : préparer le TP, refaire le travail, diffuser ses résultats, etc. À la fin de la seconde année, ces missions sont de nouveau analysées afin d'étudier les transformations pédagogiques.

- Nous utilisons également des **débriefings** pour identifier rapidement des points de blocage dans l'utilisation de LNB.

- Un **questionnaire-baromètre (QB)** est un questionnaire soumis de façon répétée et à intervalles réguliers à une cohorte d'utilisateurs. Dans le cas de LNB, il y a trois vagues de passation : avant l'utilisation et à la fin de

chaque année d'enseignement. Ces questionnaires sont administrés auprès des enseignants concepteurs et des enseignants tuteurs, afin de mesurer l'évolution de leurs activités et de leur satisfaction. Les mesures recueillies sont de type déclaratif ; elles font l'objet de traitement quantitatif.

- Pour les étudiants, le **questionnaire (QS)** n'est pas « barométré », car d'un semestre à l'autre, ce ne sont pas les mêmes cohortes qui sont interrogées.

5.4.4. Identifier les données existantes

Les données existantes sont les supports de cours produits par les enseignants. Ils sont recueillis lors des entretiens.

5.4.5. Construire les outils de mesures

Nous présentons à titre d'exemple l'élaboration du questionnaire baromètre qui contient des indicateurs théoriques (SCL) et des indicateurs de terrain (Satisfaction). Les données produites sont quantitatives et déclaratives. Pour les indicateurs du SCL, nous utilisons les caractéristiques fournies par les auteurs (Freeman *et al.*, 2014) et nous les déclinons en questions. Le tableau 2 présente un exemple de ce travail. Pour les réponses, nous utilisons une échelle d'accord de Likert à quatre degrés (*Tout à fait, Plutôt, Plutôt pas, Pas du tout d'accord*) et la modalité « non-réponse ».

Tableau 2 • Trois indicateurs du SCL et questions associées

Trois indicateurs du SCL	Questions associées
Les modalités de résolution du problème déléguées aux étudiants	« Pour cette formation, je laisse les étudiants choisir librement leur méthode pour résoudre des problèmes complexes »
Les étudiants sont autonomes dans leur travail	« LNB aide les étudiants à organiser leur travail » « LNB aide les étudiants à structurer leurs rapports »
Une organisation temporelle flexible du travail (adaptation au rythme de l'élève, possibilité de travail à distance...)	« Pour cette formation, je laisse la liberté aux étudiants d'organiser leur temps pendant la séance » « Pour cette formation, je demande aux étudiants du travail en dehors des séances » « LNB facilite le travail des étudiants entre les séances »

La mesure de la satisfaction s’effectue par une question qui mesure la satisfaction globale et par plusieurs questions qui mesurent la satisfaction sur des éléments plus fins (Ray, 2001 ; Parahoo *et al.*, 2016). Ainsi, dans le cas de LNB, nous avons mesuré la satisfaction globale sur une échelle allant de 0 à 10. Nous avons posé des questions de satisfaction sur les fonctionnalités de LNB, sur l’écriture des rapports avec LNB, sur l’utilisation de LNB avec les enseignants, pour le travail à la maison, pour obtenir des retours de la part des enseignants, pour travailler avec les étudiants du groupe, pour partager des ressources. Ainsi, avec ces sept questions, nous pouvons étudier l’impact de ces éléments sur la satisfaction globale. Concrètement, nous saurons si le partage des ressources entre les étudiants (une des fonctionnalités de LNB) a un impact fort ou non sur la satisfaction globale.

5.4.6. Schématiser le processus d’évaluation

La représentation graphique du processus d’évaluation (figure 3) offre une vision globale et une synthèse de ce travail de terrain. Au cours de ce projet, nous avons utilisé plusieurs représentations graphiques en fonction des canaux de médiation (institution, publications, web, etc.).

	Avant utilisation	Année 1	Année 2	Année 3
Enseignants concepteurs	QB0 Entretien T0	QB0 ou QB1 Missions 1	QB1 ou QB2 Missions 1 et 2 Entretien T1	QB2 Missions 2 Entretien T1
Enseignant utilisateurs	QB0	QB0 ou QB1 Débriefing 1	QB1 ou QB2 Débriefing 1 ou 2	QB2 Débriefing 2
Étudiants		Traces 1	QS1 Traces 2	QS2 Traces 3

Figure 3 • Schématisation du PEL

6. Déroulement du PEL dans le projet LNB et bilan

Dans cette section, nous présentons le déroulement sur le terrain et dressons le bilan de cette étude.

6.1. Déroulement du PEL dans le projet LNB

Le processus d’évaluation longitudinale a été déployé sur une période de trois ans, de 2017 à 2019. Au départ du projet, vingt-trois unités d’enseignement étaient impliquées. Le PEL a débuté par la passation des entretiens avec les responsables d’UE avant qu’ils élaborent les situations pédagogiques proposées à leurs étudiants sur la plateforme. À partir de septembre 2017, les questionnaires baromètres ont été soumis à l’ensemble

des enseignants-utilisateurs et ce, jusqu'à décembre 2019. Les entretiens de fin d'utilisation avec les responsables d'UE ont été conduits de manière échelonnée entre les mois de mai 2019 et le mois de février 2020. Le recueil des traces numériques et des données issues des débriefings s'est opéré de façon continue tout au long du processus. Plusieurs publications de recherche ont été réalisées sur la base de ces données (Planche *et al.*, 2019 ; Planche *et al.*, 2021 ; Hoffmann *et al.*, 2019 ; Hoffmann *et al.*, 2021).

6.2. Bilan sur les outils des mesures

Les entretiens ont principalement servi l'objectif « recherche » du PEL et, plus occasionnellement, l'objectif « technique » et « enseignement ». Nous avons réalisé 22 entretiens auprès des enseignants-concepteurs avant l'utilisation de LNB et 19 après (parmi eux 14 ont été rencontrés avant et après l'utilisation de LNB). Nous en avons conduit auprès de 5 enseignants-tuteurs impliqués dans la conception, afin d'avoir un regard complémentaire. Certains concepteurs n'ont pas souhaité continuer ; leur choix d'abandonner nous a conduits à les interroger à nouveau pour comprendre cette décision. L'analyse thématique des entretiens a éclairé le choix, les motivations et les changements des pratiques des responsables d'UE. La difficulté inhérente à ces données a été le recueil et l'analyse qui est par nature chronophage.

Les questionnaires baromètres ont essentiellement servi les objectifs « enseignement » et « recherche » du PEL. En janvier 2020, sur les trois vagues, 159 questionnaires avaient été complétés par 66 enseignants-utilisateurs (soit 42 % de l'ensemble des enseignants-utilisateurs). Après nettoyage de la base et suppression des doublons, 151 questionnaires se sont avérés exploitables. Parmi les 66 enseignants ayant répondu au moins une fois au questionnaire-baromètre, 32 ont répondu aux deux premières vagues (QB0 et QB1) - soit un taux de réponse de 48,5 % - et, parmi eux, 26 se sont prêtés à l'exercice pour les trois vagues de passation (QB0, QB1 et QB2) - soit un taux de réponse de 39,4 %. Bien que faible sur la totalité du PEL, les réponses à ces questions vague par vague montrent comment s'est passée l'évolution des utilisations de LNB. Si ces données chiffrées sont des indicateurs sur l'évolution de l'utilisation de LNB, il convient de les étayer par des données qualitatives comme les entretiens ou des données existantes produites par les enseignants, comme les missions. Le questionnaire baromètre qui nous apparaissait comme un outil pertinent pour mesurer de manière quantitative les évolutions s'est avéré lourd et peu satisfaisant. Les trois vagues de questionnaires ont lassé les enseignants

et le taux de participation n'a jamais été très élevé et a diminué à chacune des vagues. En outre, lors de l'analyse des réponses aux questionnaires, des questions nous sont apparues mal formulées (p. ex., « J'ai travaillé de façon collaborative », le terme collaboratif a sans doute été compris différemment selon les unités d'enseignement.

L'étude des missions sert principalement l'objectif « recherche » du PEL. 144 missions implémentées sur LNB ont été analysées dans le cadre du PEL. Ces missions renseignent sur le degré de liberté laissé aux étudiants dans la conduite de leur travail par les enseignants. La structuration de ces missions et leur évolution renseignent de manière factuelle sur l'activité de l'enseignant. Une grille de codage des missions a été élaborée sur la base des critères du SCL. L'analyse de ces données a été enrichie par l'analyse thématique des entretiens.

Initialement, des carnets de bord avaient été élaborés pour suivre les interactions entre les enseignants et l'équipe conceptrice de LNB tout au long du projet. Ils devaient être complétés par l'ensemble de l'équipe conceptrice, à mesure que les demandes d'aide se présentaient. Le recueil a finalement été abandonné, en raison notamment de l'aspect chronophage et de la rigueur presque quotidienne exigée par la tâche, compte tenu des autres charges pesant déjà sur les membres de l'équipe.

Des données de terrain moins formalisées sur les retours des enseignants-utilisateurs ont malgré tout pu être conservées par les chercheurs qui ont consigné les demandes et retours que les enseignants ont faits sur le fonctionnement de LNB. En outre, des débriefings ou d'autres échanges informels avec les enseignants et les responsables d'UE ont permis de recueillir des éléments pour comprendre leurs difficultés à concevoir des missions sur LNB et à utiliser LNB. L'ensemble de ces données a essentiellement servi les objectifs « technique » et « enseignement » du processus d'évaluation. Ces données non formalisées par un outil de mesure ne peuvent être exploitées dans un objectif de recherche.

Nous avons utilisé les traces d'activités des enseignants sur LNB en ciblant trois objectifs du PEL. Pour l'objectif « recherche », les traces permettent d'identifier les manières d'utiliser les fonctionnalités de LNB, ou de construire des profils d'utilisateurs de la plateforme. Pour les objectifs « enseignement » et « technique », les traces ont également été utilisées dans une visée de *learning analytics*. Ce travail a notamment permis la conception et l'implémentation de tableaux de bord sur l'interface enseignant de LNB. Pour l'objectif « institution », nous avons pu faire un

**Nadine MANDRAN, Maelle PLANCHE Patricia MARZIN-JANVIER
Mathieu VERMEULEN, Aous KAROUÏ, Cédric d'HAM, et al.**

retour aux financeurs sur l'utilisation effective de la plateforme par les enseignants et les étudiants concernés. L'utilisation de la plateforme dans l'enseignement a été croissante de 2017 à 2019. Dans cette période, le nombre d'enseignants a été multiplié par deux. Près de 4500 étudiants ont utilisé LNB. Plus de 8000 rapports d'étudiants ont été produits sur ces trois années.

Après trois années d'évaluation, 1 345 questionnaires étudiants ont été recueillis, soit un taux de réponse de 26,8 % environ. Ce taux de réponse est conforme à ce qui peut être attendu dans la passation de ce type de questionnaire. Il conviendra cependant de vérifier que la répartition du taux de réponse soit uniforme entre les UE. Ces données fournissent des indicateurs pour la recherche (p. ex., perception d'un enseignement centré sur l'étudiant), pour l'enseignement (p. ex., utilisation et satisfaction) et pour l'institution (p. ex., satisfaction). La passation en ligne du questionnaire à la fin du cours s'est avérée peu efficace (peu de participation de la part des étudiants), ce qui nous a contraints à adopter une version papier du questionnaire. La saisie a été réalisée à l'aide d'un scanner des questionnaires remplis. Mettre en place ce type d'outil demande d'anticiper le recueil technique des données et de créer des alternatives en cas d'un faible taux de réponse.

6.3. Bilan global

Le PEL et les outils fournis ont permis de répondre aux différents objectifs d'évaluation fixés au début du projet. Pour l'IDEX de l'université, le projet LNB a été le seul à fournir aux financeurs des données précises sur son utilisation et sur le degré de satisfaction des utilisateurs. En ce qui concerne l'enseignement et l'évolution technique, la formalisation d'entretiens, de débriefings et de séminaires a instauré un niveau de confiance et de collaboration entre les enseignants, l'équipe projet et les développeurs. Du côté recherche, les cadres théoriques mobilisés ont permis de travailler sur des indicateurs mesurés au fil du temps avec des outils adéquats (p. ex., guide d'entretien, questionnaires). Le travail de formalisation des outils de mesures a produit des informations pour répondre aux questions de recherche initiales. En outre, le nombre important de données a permis d'élargir le champ des questions de recherche. Par exemple, des questions d'une granularité plus fine autour du travail collaboratif ont émergé.

De plus, le PEL a nécessité des aménagements au cours des passations. Les échanges par mail entre les chercheurs et les enseignants ont constitué des données précieuses pour faire évoluer LNB. De même, les débriefings

réguliers avec les enseignants ont été importants pour, d'une part, contribuer aux améliorations de LNB et, d'autre part, maintenir la relation de collaboration autour de ce projet.

Aussi, le grand nombre de données produites et leur diversité peuvent être un écueil, car il est parfois difficile d'analyser des corpus si divers. À ce sujet, une des difficultés rencontrées a été l'analyse des données demandant une compétence en analyse qualitative et quantitative. Bien que ces méthodes d'analyse soient maîtrisées par les deux méthodologues, les autres chercheurs du projet ont parfois eu du mal à adhérer aux résultats produits. Ils ont besoin d'analyser eux-mêmes les données pour s'approprier les résultats.

Enfin, travailler de manière longitudinale implique de garder un moyen de suivre les réponses d'une personne donnée. L'anonymisation est donc difficile. Il est nécessaire d'anticiper les procédures d'anonymisation des données et de mise en conformité avec la loi RGPD et les avis du comité d'éthique qui peuvent s'avérer longues. Dans notre cas, il a fallu un an de travail et d'aller-retour avant d'élaborer un document recevable par le responsable de la protection des données de l'Université.

7. Discussion et conclusion

Dans cette section, nous reviendrons d'abord sur les trois questions de recherche qui conduisent cet article. Puis, comme ce travail a été l'occasion de mettre en pratique les propriétés du Design-Based Research, nous réinterrogerons cette méthode quant à la conduite d'évaluation de plateformes en EIAH dans des contextes institutionnels.

Pour répondre à la 1^{re} question « Quelles sont les particularités de l'évaluation des EIAH dans un contexte de recherche ? », nous avons proposé un cadre scientifique qui repose sur les travaux des sciences de l'artificiel, de manière à construire des connaissances scientifiques et des outils supports à cette connaissance. Nous avons aussi proposé une posture épistémologique, le constructivisme pragmatique, qui prend en compte les spécificités des EIAH évalués dans le cadre de projets de recherche financés et utilisés en contexte réel. Nous avons également choisi d'utiliser la méthode DBR en nous appuyant sur les sept propriétés posées par ses auteurs.

Pour répondre à la 2^e question « Quelles sont les méthodes de production de données adéquates ? », nous avons tout d'abord éclairci notre position sur des termes parfois mal mobilisés (qualitatif versus

quantitatif, factuelle versus déclarative, etc.). Nous avons ensuite listé et décrit un ensemble de méthodes de production des données envisageables en fonction des objectifs visés dans le cadre du projet LNB. Nous avons explicité en quoi le choix des méthodes de production ou de recueil des données est en lien avec les objectifs, les questions de recherche, la temporalité du projet, les indicateurs.

Pour répondre à la 3e question « Comment construire un tel processus afin de produire des données pertinentes pour l'ensemble des acteurs du projet ? », nous avons proposé un modèle de processus découpé en six temps, eux-mêmes subdivisés en tâches. Ce modèle de processus a été appliqué au projet LNB conduit en contexte réel durant trois années.

Pour les plateformes développées dans le cadre des recherches en EIAH, nous avons proposé une structuration et une manière de conduire ces évaluations sur le long terme. La documentation de ces étapes et de leurs itérations (figure 2) peut être réutilisée et adaptée à d'autres contextes.

Notre travail a aussi été l'occasion de mettre à l'épreuve les sept propriétés du DBR. C'est sur ce point que nous souhaitons conclure, ouvrir le débat et proposer des réflexions sur les méthodes pour les recherches s'appuyant sur des plateformes numériques. Notre méthode a suivi les sept propriétés du DBR, nous souhaitons indiquer ici en quoi elles ont pu être suivies ou non.

Les propriétés « Pragmatique » et « Fondée sur le terrain » ont été appliquées sans difficulté, notre projet est effectivement réalisé en grandeur réelle avec des enseignants et des étudiants sur une durée de trois ans. Il en est de même pour la propriété « Intégrative » sur la mise en œuvre de plusieurs méthodes de production des données. Nous avons, en effet, utilisé au total sept méthodes de production de données, mesurant à la fois des données qualitatives et quantitatives et des données factuelles et déclaratives. Ce travail de construction d'outils de mesures et de méthodes de production de données est décrit dans une littérature abondante et de nombreux sites web répertorient des méthodes de production des données. Cependant, vu l'importance prise par les débriefings dans le projet LNB, une question est : comment tracer l'implicite, l'informel dans ce type de projet ?

Les propriétés « Itérative » de l'outil et « Flexible » de la question de recherche ont été tenues sans difficulté. La plateforme a été améliorée. De même, les questions de recherche ont évolué au fil du temps. La réflexion

large sur les indicateurs au départ du projet et le nombre important de données produites permettent aujourd'hui de répondre à d'autres questions de recherche de grain plus fin. Si les évolutions techniques de la plateforme sont tracées sur un dispositif numérique (p. ex., Github) ce n'est pas le cas de l'évolution des questions de recherche. Ainsi, nous pouvons nous interroger sur l'intérêt d'un outil destiné à suivre l'évolution des questions de recherche dans le cadre du DBR. Quelles fonctionnalités cet outil devrait-il offrir ? Comment devrait-il être structuré ?

Pour la propriété 4 « Interactive », nous étions dans un contexte favorable, car les enseignants chercheurs du projet sont eux-mêmes impliqués dans le développement informatique de LNB et dans la recherche didactique en sciences expérimentales. De plus, des méthodologues associés au projet ont apporté leur expertise dans la production des données. Sans ce contexte favorable, la propriété « interactive » du DBR aurait été difficile à mettre en place, car il s'agit de travailler de manière collaborative avec plusieurs acteurs ayant des intérêts et des contraintes parfois divergents. Pour le DBR, ces acteurs doivent travailler ensemble à l'élaboration de la recherche, des plateformes et des outils d'évaluation. Les domaines de compétences requis sont donc très différents. Dans ces conditions, faut-il mobiliser un outillage (Mandran, 2018) ? Ou bien avoir recours à un médiateur de type « Broker » (Sanchez et Monod-Ansaldi, 2015) pour conduire ces recherches ancrées dans le terrain ?

La propriété « Contextuelle » concerne la nécessité de faire le lien entre les résultats et le contexte dans lequel les données et les résultats ont été produits. Plusieurs contextes doivent être étudiés ; la multiplicité de contextes permet de garantir la généralité des résultats et d'augmenter leur niveau de validité. Dans notre cas, nous avons pu observer l'utilisation de la plateforme dans plusieurs contextes d'enseignement. Les résultats que nous avons produits sont pour l'instant au niveau global ou par unité d'enseignement en fonction des questions de recherche. Cette propriété pourra être validée par exemple par une étude comparative entre deux enseignements. Mais en quoi et comment pouvons-nous conclure que les résultats sont génériques ? Cette question ne peut être résolue qu'en se posant la question de la posture épistémologique adoptée pour construire une connaissance scientifique. C'est pourquoi notre ancrage dans le constructivisme pragmatique nous apparaît comme un point essentiel avant même le choix d'une méthode de conduite de la recherche comme le *Design-Based Research*.

RÉFÉRENCES

Avenier, M.-J. (2019). Les sciences de l'artificiel : une conceptualisation révolutionnaire de sciences fondamentales à parachever. *Projectics/Proyèctica/Projectique*, 24(3), 43-56. <https://doi.org/10.3917/proj.024.0043>

Avenier, M.-J. et Thomas, C. (2015). Finding one's way around various methodological guidelines for doing rigorous case studies: A comparison of four epistemological frameworks. *Systèmes d'information et Management*, 20(1), 61-98.

Balacheff, N. et Lund, K. (2013). Multidisciplinarity vs. Multivocality, the case of "learning analytics". Dans *Proceedings of the Third International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK'13)* (p. 5-13). <https://doi.org/10.1145/2460296.2460299>

Bernhaupt, R., Obrist, M., Weiss, A., Beck, E. et Tscheligi, M. (2008). Trends in the living room and beyond: results from ethnographic studies using creative and playful probing. *ACM Computers in Entertainment*, 6(1). <http://doi.acm.org/10.1145/1350843.1350848>

Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. Dans A. B. Weerdmeester, P. W. Jordan, I. L. McClelland et B. Thomas (dir.), *Usability Évaluation in Industry* (p. 189-194). Taylor & Francis.

Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>

Collins, A. (1992). Toward a design science of education. Dans E. Scanlon et T. O'Shea (dir.), *New Directions in Educational Technology* (pp. 15-22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77750-9_2

Creswell, J. W. (2013). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.

De Vries, E. et Baillé, J. (2006). Apprentissage : Référents théoriques pour les EIAH. Dans M. Grandbastien et J.-M. Labat (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (p. 27-45). Hermes Science.

Donnelly, D. F., Linn, M. C. et Ludvigsen, S. (2014). Impacts and characteristics of computer-based science inquiry learning environments for precollege students. *Review of Educational Research*, 84(4), 572-608.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. et Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. Dans *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.

Granić, A. et Ćukušić, M. (2011). Usability testing and expert inspections complemented by educational evaluation: A case study of an e-learning platform. *Journal of Educational Technology & Society*, 14(2), 107-123.

Hannafin, M. J. et Hannafin, K. M. (2010). Cognition and student-centered, web-based learning: Issues and implications for research and theory. Dans J. M. Spector, D. Ifenthaler, P. Isaías, Kinshuk et D. Sampson (dir.), *Learning and Instruction in the Digital Age* (p. 11-23). Springer US.

Hannafin, M., Land, S. et Oliver, K. (1999). Open learning environments: foundations, methods, and models. Dans C. Reigeluth (dir.), *Instructional-Design Theories and Models* (Vol. 2, p. 115-140). Lawrence Erlbaum.

Herrington, J., McKenney, S., Reeves, T. et Oliver, R. (2007). Design-based research and doctoral students: Guidelines for preparing a dissertation proposal. *EdMedia+ Innovate Learning*, 4089-4097.

Hoffmann, C., Girault, I., Kahane, C., d'Ham, C. et Planche, M. (2019). Utilisation d'une plateforme numérique dans un dispositif d'apprentissage par problèmes (APP). QPES, Brest, France.

Hoffmann, C., Girault, I., Kahane, C., d'Ham, C. et Planche, M. (2021). Introduction d'une plateforme numérique dans un dispositif APP - quelles adaptations, quelle influence sur la coopération/collaboration étudiante? *Les Annales de QPES*, 1(3), Article 3. <https://doi.org/10.14428/qpes.v1i3.62083>

Land, S. et Oliver, K. (2012). *Open learning environments*. Dans N. M. Seel (dir.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (p. 855). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6>

Lathika, K. (2016). Student centered learning. *International Journal of Current Research and modern education*, 677-680.

Lee, E. et Hannafin, M. J. (2016). A design framework for enhancing engagement in student-centered learning: Own it, learn it, and share it. *Educational Technology Research and Development*, 64(4), 707-734.

Lhoste, Y. et Orange, C. (2015). Quels cadres théoriques et méthodologiques pour quelles recherches en didactique des sciences et des technologies? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 11, 9-24.

Mandran, N. (2018). *Traceable human experiment design research: Theoretical model and practical guide* (ISTE, vol. 9). Wiley-ISTE.

Mandran, N. et Dupuy-Chessa, S. (2017). THEDRE: A traceable process for high quality in human centred computer science research. Dans *Proceedings of the International Conference on Information Systems Development (ISD 2017)*. <https://aisel.aisnet.org/isd2014/proceedings2017/ISDMethodologies/12>

Mandran, N., Vermeulen, M. et Prior, E. (2021). Comment guider les doctorants dans l'utilisation du Design-Based Research? Dans *Actes de la 10^e Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2021)* (p. 130-141). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03292805>

McKenney, S. et Reeves, T. C. (2019). *Conducting educational design research* (second). Routledge.

Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Elsevier.

Paillé, P. et Mucchielli, A. (2011). *L'analyse qualitative en sciences humaine et sociales* (2^e éd.). Armand Colin.

Parahoo, S. K., Santally, M. I., Rajabalee, Y. et Harvey, H. L. (2016). Designing a predictive model of student satisfaction in online learning. *Journal of Marketing for Higher Education*, 26(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/08841241.2015.1083511>

Planche, M., d'Ham, C., Hoffmann, C., Mandran, N., Girault, I., Wajeman, C. et Marzin, P. (2021). Soutien aux pédagogies actives et transformations impulsées par une plateforme numérique dédiée aux sciences expérimentales. Dans *Actes de la 10^e Conférence « Environnements informatiques pour l'apprentissage humain » (EIAH 2021)*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03293473>

**Nadine MANDRAN, Maelle PLANCHE Patricia MARZIN-JANVIER
Mathieu VERMEULEN, Aous KAROUÏ, Cédric d'HAM, et al.**

Planche, M., Mandran, N., Girault, I., Marzin-Janvier, P., d'Ham, C. et Wajeman, C. (2019). Contribution de différents outils de mesure à l'évaluation des usages d'une plateforme numérique par un processus longitudinal : Cas du travail à distance. Dans *Actes de la 9^e Conférence « Environnements informatiques pour l'apprentissage humain » (EIAH 2019)*.

Ray, D. (2001). *Mesurer et développer la satisfaction des clients*. Éditions d'organisation.

Rentroia-Bonito, M. A. et Jorge, J. A. P. (2003). An integrated courseware usability evaluation method. Dans V. Palade, R. J. Howlett et L. Jain (dir.), *Knowledge-based intelligent information and engineering systems* (Vol. 2774, p. 208-214). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-45226-3_29

Sanchez, É. et Monod-Ansaldi, R. (2015). Recherche collaborative orientée par la conception. *Éducation et Didactique*, 9(2), 73-94.

Simon, H. A. (2004). *Les sciences de l'artificiel* [The sciences of the artificial] (J.-L. Le Moigne, trad.). Gallimard. (Ouvrage original publié en 1996, 3^e éd. rev. et complétée).

Tiberghien, A., Vince, J. et Gaidioz, P. (2009). Design-based research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314. <https://doi.org/10.1080/09500690902874894>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner et E. Souberman, dir.). Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>

Wang, F. et Hannafin, M. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.



Comités

1. Rédactrice en chef

Élise LAVOUÉ • LIRIS, Université Jean Moulin Lyon 3

2. Comité de rédaction

Monique BARON • LIP6, Sorbonne Université

Laetitia BOULCH • EDA, Université Paris Cité

Éric BRUILLARD • EDA, Université Paris Cité

Pierre-André CARON • CIREL, Université Lille

Christophe DESPRÈS • LIUM, Le Mans Université

Michel DESMARAIS • Polytechnique Montréal

Béatrice DROT-DELANGÉ • ACTé, Université Clermont Auvergne

Nour EL MAWAS • CIREL, Université Lille

Sébastien GEORGE • LIUM, Le Mans Université, Laval

Monique GRANDBASTIEN • LORIA, Université de Lorraine

Richard HOTTE • LICEF, Télé-université, Université du Québec, Montréal, Canada

Pierre JACOBONI • LIUM, Le Mans Université

Élise LAVOUÉ • LIRIS, Université Jean Moulin Lyon 3

Vanda LUENGO • LIP6, Sorbonne Université

Agathe MERCERON • Université de Berlin, Allemagne

Gaëlle MOLINARI • TECFA, Unidistance, Genève, Suisse

Chrysta PÉLISSIER • Praxiling, Université Montpellier 3

Jean-Luc RINAUDO • Civiic, Université de Rouen

3. Comité de parrainage scientifique

Nicolas BALACHEFF • Laboratoire d'Informatique de Grenoble, CNRS

Stefano CERRI • LIRMM, Université de Montpellier 2

Christian DEPOVER • Université de Mons, Belgique

Alain DERYCKE • TRIGONE, Université de Lille

Pierre DILLENBOURG • École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse

Claude FRASSON • Université de Montréal, Canada

Catherine GARBAY • CNRS, laboratoire d'Informatique de Grenoble

Gilles GAUTHIER • UQAM, Canada

Guy GOUARDÈRES • ISIHM, Université de Pau

Ulrich HOPPE • Université de Duisbourg, Allemagne
Jean-Marc LABAT • LIP6, Sorbonne Université
Patrick MENDELSON • LSE, IUFM de Grenoble
Jean-François NICAUD • LIG, Université Grenoble Alpes
Gilbert PAQUETTE • LICEF, Télé-université, Université du Québec,
Montréal, Canada
Janine ROGALSKI • Laboratoire « Cognition et activités finalisées »,
Université de Vincennes-Saint-Denis
Maria Felisa VERDEJO • Universidad nacional de educación a distancia,
Espagne

4. Comité de lecture

Michel ARNAUD • Université Paris Nanterre
François-Xavier BERNARD • EDA, Université Paris Cité
Mireille BÉTRANCOURT • TECFA, Université de Genève, Suisse
Jacques BÉZIAT • CIRNEF, Université de Caen Normandie
Bernard BLANDIN • CREF, Université Paris Nanterre et CESI
François BOUCHET • LIP6, Sorbonne Université
Julien BROISIN • IRT, Université de Toulouse Paul-Sabatier
Thibault CARRON • LIP6, Sorbonne Université et Université de Savoie
Mont-Blanc
Ullrich CARSTEN • EdTec Lab, DFKI GmbH, Sarrebrück, Allemagne
Thierry CHANIER • LRL, Université Clermont Auvergne
Ghislaine CHARTRON • CNAM, Paris
Christophe CHOQUET • LIUM, Le Mans Université, Laval
Philippe COTTIER • CREN, Université de Nantes
Jacques CRINON • INSPÉ, Université Paris Est Créteil
Bruno DE LIÈVRE • Université de Mons, Belgique
Nicolas DELESTRE • LITIS, INSA de Rouen
Élisabeth DELOZANNE • LIP6, Sorbonne Université
Michel DESMARAIS • École polytechnique de Montréal, Canada
Cyrille DESMOULINS • LIG, Université Grenoble Alpes
Philippe DESSUS • LSE, Université Grenoble Alpes
Angélique DIMITRACOPOULOU • LTEE, Université d'Egée, Grèce
Béatrice DROT-DELANGE • ACTé, Université Clermont Auvergne
Aude DUFRESNE • ESI, Université de Montréal, Canada
Cédric FLUCKIGER • Théodile-CIREL, Université de Lille
Serge GARLATTI • Lab-STICC, IMT Atlantique, Brest
Jean-Marie GILLIOT • Lab-STICC, IMT Atlantique, Brest
Brigitte GRUGEON • LDAR, INSPÉ, Université Paris Est Créteil

Viviane GUÉRAUD • LIG, Université Grenoble Alpes
Nicolas GUICHON • ICAR, Université Lumière Lyon 2
Nathalie GUIN • LIRIS, Université Lyon 1
France HENRI • LICEF, Télé-université, Université du Québec, Montréal,
Canada
Pierre JARRAUD • FOAD, Sorbonne Université
Michelle JOAB • LIRMM, Université Montpellier 2
Céline JOIRON • MIS, Université de Picardie Jules Verne, Amiens
Mehdi KHANEBOUBI • STEF, ENS Paris-Saclay
Vassilis KOMIS • Université de Patras, Grèce
Thérèse LAFERRIÈRE • TACT, Université Laval, Canada
Françoise LE CALVEZ • LIP 6, Sorbonne Université
Marie LEFÈVRE • LIRIS, Université Lyon 1
Dominique LENNE • Heudiasyc, Université de Technologie de
Compiègne Pascal LEROUX • CREN, Le Mans Université
Paul LIBBRECHT • Leibniz Institute for Research and Information in
Education, Allemagne
Cabral LIMA • Université Fédéral de Rio de Janeiro, Brésil
Domitile LOURDEAUX • Heudiasyc, Université de Technologie
deCompiègne
Pascal MARQUET • LISEC, Université de Strasbourg
Jean-Charles MARTY • LIRIS, Université de Savoie
André MAYERS • Université de Sherbrooke, Canada
Christine MICHEL • TECHNÉ, Université de Poitiers
Roger NKAMBOU • GDAC, Université du Québec à Montréal, Canada
Thierry NODENOT • LIUPPA, Université de Pau et des Pays de l'Adour,
Bayonne
Daniel PERAYA • TECFA, Université de Genève, Suisse
Yvan PETER • CRISAL, Université de Lille
Julia PILET • LDAR, INSPÉ, Université Paris Est Créteil Val-de-Marne
Dominique PY • LIUM, Le Mans Université
Christophe REFFAY • ELLIAD, INSPÉ, Université de Franche-Comté
Éric SANCHEZ • TECFA, Université de Genève, Suisse
Karim SEHABA • LIRIS, Université Lyon 2
Nicolas SZILAS • TECFA, Université de Genève, Suisse
Pierre TCHOUNIKINE • LIG, Université Grenoble Alpes
André TRICOT • EPSYLON, Université Paul-Valéry Montpellier 3
Nicolas VAN LABEKE • Learning Sciences Research Institute, University
of Nottingham, UK

Jean VANDERDONCKT • ISYS, Université catholique de Louvain,
Belgique

Kalina YACEF • Université de Sydney, Australie

5. En mémoire d'anciens membres des comités :

Erik DUVAL • Université de Louvain, Belgique

Jacques PERRIAULT • Université Paris Nanterre

François VILLEMONTAIX • CIREL, Université de Lille

Jacques WALLET • CIRNEF, Université de Rouen Normandie

Nous remercions les personnes extérieures aux comités qui ont relu pour ce numéro :

Julian Alvarez • CIREL, Université de Lille

Jean-Marie Boilevin • CREAD, INSPE Bretagne

Denis Bouhineau • LIG, Université Grenoble Alpes

Julien Bugman • TECHNÉ, Université de Poitiers

Christophe Declercq • CREN, INSPÉ Université de Nantes

Stéphanie Fleck • PERSEUS, Université de Lorraine - INSPE

Viviane Guéraud • LIG, Université Grenoble Alpes

Nathalie Huet • CLLE, Université Toulouse 2

Jonathan Kaplan • ECP, Université Lumière Lyon 2

Sébastien Kubicki • Lab-STICC, ENIB

Laure Léger • Université Paris Nanterre

Bertrand Marne • ICAR, Université Lumière Lyon 2

Charles Martin-Krumm • VCR, Ecole de Psychologues Praticiens de Paris

Mathieu Muratet • LIP6, Sorbonne Université

Sandra Nogry • Paragraphe, Université de Cergy-Pontoise

Evgeny Osin • Université Paris Nanterre

Yannick Parmentier • LORIA, Université de Lorraine

Gabriel Parriaux • HEP Vaud

Robert Reuter • Université du Luxembourg

Emmanuel Schneider • Université Paris Nanterre

Audrey Serna • LIRIS, INSA Lyon

Arnaud Séjourné • CREN, INSPÉ Université de Nantes

Denise Sutter Widmer • TECFA, Université de Genève

Gaëtan Temperman • Université de Mons

Thierry Vieville • MNEMOSYNE, INRIA

Amel Yessad • LIP6, Sorbonne Université





ISBN 978-2-901384-04-5

DOI: 10.23709/sticef.28.1