

Sticef

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

Volume 24, numéro 1, 2017

numéro spécial

**Sélection
de la conférence
EIAH 2015**

*sous la direction de
Gaëlle MOLINARI
et Lahcen OUBAHSSI*



Sticef

Sticef

**Volume 24
numéro 1, 2017**

numéro spécial
**Sélection de la
conférence
EIAH 2015**

© ATIEF, 2017

ISBN 978-2-9552774-5-4

DOI:10.23709/sticef.24.1 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

Gaëlle Molinari, Lahcen Oubahssi • Éditorial	7
Elena CODREANU, Christine MICHEL, Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON, Olivier VIGNEAU • L'acceptation et l'appropriation des ENT (Espaces Numériques de Travail) par les enseignants du primaire.....	13
Baptiste MONTERRAT, Élise LAVOUÉ, Sébastien GEORGE, Michel DESMARAIS • Les effets d'une ludification adaptative sur l'engagement des apprenants	51
Esteban LOISEAU, Pierre LAFORCADE, Nour EL MAWAS, Sébastien IKSAL • Abstraction des fonctionnalités d'une plateforme de formation pour la mise en œuvre de langages de scénarisation	75
Lionel MÉLOT, Albert STREBELLE, Jérôme MAHAUDEN, Christian DEPOVER • Utilisation de <i>Facebook</i> en contexte universitaire	107
Nicolas SZILAS, Jean DUMAS, Urs RICHLE, Nicolas HABONNEAU • Apports d'une simulation narrative pour l'acquisition de compétences sociales	123
Gaëtan TEMPERMAN, Sébastien WALGRAEVE, Bruno DE LIÈVRE, Karim BOUMAZGUIDA • Développer des compétences de conceptualisation et d'analyse avec un forum de discussion et un etherpad.....	151
Franck SILVESTRE, Philippe VIDAL, Julien BROISIN • Un nouveau processus d'évaluation pour améliorer la qualité des feedbacks dans les tests en ligne.....	181
Albert STREBELLE, Lionel MÉLOT, Amandine DUCARME, Christian DEPOVER • Analyse des comportements sociaux dans le cadre d'un apprentissage collectif de la programmation d'un robot de sol.....	205

Sommaire

Ben-Manson TOUSSAINT, Vanda LUENGO, Francis JAMBON • Analyse de connaissances perceptivo-gestuelles dans un Système Tutoriel Intelligent	231
Denise SUTTER WIDMER, Nicolas SZILAS • Motivation, comportement dans le jeu et expérience de jeu : une relation aux multiples facettes.....	265
Comités	299



Éditorial du numéro spécial

Sélection de la conférence

EIAH 2015

Volume 24, n° 1

► **Gaëlle MOLINARI** (TECFA, Unidistance),
Lahcen OUBAHSSI (LIUM, Le Mans Université)

Ce numéro spécial accueille la version étendue d'une dizaine d'articles initialement présentés lors de la 7^e édition de la conférence EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) qui s'est tenue à Agadir (Maroc) du 2 au 5 juin 2015.

Le domaine des EIAH réunit des chercheur-e-s issu-e-s de plus d'une dizaine de disciplines dont l'informatique, la psychologie, l'ergonomie, les sciences cognitives, la pédagogie, les sciences de l'éducation, les didactiques, les sciences du langage et de la communication. Les travaux qui y sont menés s'interrogent sur la façon de développer des artefacts informatiques pour accompagner, personnaliser, améliorer voire augmenter les processus d'apprentissage et d'enseignement. Les EIAH peuvent être appréhendés sous plusieurs angles (conception, réalisation, évaluation, usages et pratiques, impact sur l'apprentissage, etc.) en fonction de différents acteurs (apprenants, enseignants, institutions, etc.) et de différents contextes (cours en face à face, formation à distance, apprentissage collaboratif, apprentissage informel, autoformation, etc.). Du fait du caractère pluri- voire transdisciplinaire du domaine, il convient de considérer la place et l'importance respective des disciplines impliquées dans l'appréhension de la complexité sous-jacente aux situations pédagogiques informatisées. La visée de la communauté est d'intégrer les apports de chaque discipline en un cadre de recherche propre permettant une vision plus globale des problèmes et enjeux en EIAH.

Les articles de ce numéro spécial ont été sélectionnés sur la base des résultats du processus d'évaluation de la conférence EIAH et ont fait l'objet d'une seconde évaluation par le comité de lecture de la revue STICEF. Ces articles abordent une variété de questions qui sont représentatives du domaine, à savoir : la scénarisation (Loiseau *et al.* pour les plateformes de formation à distance) ; l'analyse des usages et pratiques (Codreanu *et al.* sur les ENT dans les écoles primaires ; Mélot *et al.* sur le réseau social Facebook dans les universités) ; les jeux pédagogiques et jeux sérieux (Sutter Widmer et Szilas à propos de l'impact d'un jeu vidéo en algèbre sur la motivation) ; les systèmes adaptatifs (Monterrat *et al.* sur la ludification adaptative des EIAH pour augmenter l'engagement) ; la collecte, la modélisation et l'analyse des traces dans les EIAH (Temperman *et al.* sur l'analyse multi-niveaux des traces d'activités collaboratives dans un forum et un Etherpad ; Toussaint *et al.* sur la modélisation de traces hétérogènes perceptivo-gestuelles) ; les interfaces et interactions avancées pour l'éducation (Silvestre *et al.* à propos de Tsaap-Notes pour renforcer l'interactivité dans les cours en face à face ; Szilas *et al.* sur la simulation narrative pour aider les adolescents à accompagner un parent traumatisé crânien) ; les environnements d'apprentissage par la découverte, les simulations et les micro-mondes (Strebelle *et al.* sur l'utilisation du robot Bee-Bot pour la programmation collaborative dès 5 ans). Il est à noter que plusieurs de ces articles s'adressent aux dimensions motivationnelles (motivation, engagement) et sociales (communication, réseau social, collaboration, confrontation de points de vue, évaluation par les pairs) de l'apprentissage. La prise en compte des facteurs motivationnels et affectifs est un thème émergent dans les EIAH. Le traitement de données complexes (traces de séquences consécutives d'activités collaboratives dans lesquelles différents outils informatiques sont utilisés, traces de l'activité perceptive et gestuelle en situation de simulations) reste quant à lui une question vive dans le domaine.

Un résumé des différentes contributions de ce numéro spécial est proposé ci-dessous.

Scénarisation pédagogique dans la plateforme Moodle

Loiseau, Laforcade, El Mawas et Iksal abordent la problématique de la scénarisation pédagogique dans les plateformes de formation à distance. L'expertise des enseignants quant à l'utilisation de ces plateformes impacte fortement la conception de leurs cours en ligne. Le projet GraphiT vise à aider les enseignants à spécifier des scénarios pédagogiques

pertinents qui puissent être opérationnalisés en tant que cours sur une plateforme cible. Sur la base d'un premier travail d'identification et de formalisation du métier de scénarisation de la plateforme Moodle, ils se sont intéressés à l'abstraction des aspects opérationnalisés afin de mettre l'accent sur la dimension spécification de la scénarisation. Ils ont proposé une approche pour abstraire les usages des fonctionnalités d'une plateforme et spécifier des briques de conception pédagogique de plus haut-niveau (les activités pédagogiques). Ils ont proposé un langage et un éditeur de scénarisation pédagogique graphique mettant en œuvre cette approche.

Les ENT à l'école primaire

Codreanu, Michel, Bobillier-Chaumon et Vigneau étudient, selon une démarche inductive et exploratoire, les modalités d'acceptation et d'appropriation de l'ENT (Environnement Numérique de Travail) "ONE" dans les écoles primaires. La théorie de l'activité est utilisée comme cadre d'analyse. L'étude de l'appropriation est centrée sur les publications réalisées par les enseignants et élèves dans le cahier multimédia et le blog de l'ENT. Elle montre que l'un des principaux usages de l'ENT est celui de communiquer avec les parents. Dans l'étude de l'acceptation, des entretiens semi-dirigés ont été menés pour recueillir les représentations que les enseignants ont de l'ENT. Les facteurs qui évoquent des représentations positives concernent l'organisation sociale de l'école tandis que ceux qui évoquent des représentations négatives sont liés au métier. Ces deux études permettent de faire des recommandations orientées vers le ministère et les directeurs d'école.

Le réseau social Facebook : quels usages à l'Université?

Mélot, Strebelle, Mahauden et Depover, dans leur rubrique, étudient les usages que les étudiants font du réseau social Facebook dans le cadre de leur formation universitaire. Une enquête par questionnaire a été menée pour rendre compte des perceptions des étudiants à l'égard de Facebook, comprendre les usages pédagogiques et communicationnels du réseau social, et enfin identifier les principales activités que les étudiants mènent dans les groupes auxquels ils sont inscrits. Les résultats de l'enquête montrent que 97 % des étudiants interrogés utilisent Facebook notamment pour obtenir rapidement des informations sur les cours.

Motivation et jeu sérieux pour l'apprentissage des mathématiques

Sutter Widmer et Szilas s'attachent à comprendre comment augmenter la motivation et l'engagement dans l'apprentissage en mathématiques. Dans cet objectif, ils ont développé le jeu vidéo *Algebra Mystery* qui met en scène une intrigue policière dont le dénouement passe par la résolution de problèmes algébriques. Une étude a été menée dans laquelle ce jeu sérieux a été utilisé par des élèves du secondaire. Le but de cette étude est de déterminer dans quelle mesure les profils motivationnels des élèves peuvent être mis en relation avec des comportements de joueur, la qualité de l'expérience de jeu et le sentiment d'apprentissage. Les résultats ont notamment mis en évidence quatre profils dont les mathématiciens curieux, les peu confiants, les joueurs non matheux, et les non-intéressés.

Ludification adaptative des EIAH pour renforcer l'engagement des apprenants

Montserrat, Lavoué, George et Desmarais s'interrogent également sur la façon de rendre les EIAH plus motivants. Leur approche est celle de la ludification qui consiste à intégrer et à adapter des mécaniques de jeu à des environnements existants, en l'occurrence ici un environnement dédié à la mémorisation de règles de grammaire. Les auteurs proposent une architecture de ludification adaptative qui repose à la fois sur un moteur éducatif qui tient compte du modèle des connaissances de l'apprenant et un moteur ludique qui tient compte de son profil de joueur et de ses préférences en termes de fonctionnalités ludiques. Une expérimentation a été menée en condition écologique pour évaluer l'impact de la ludification adaptative basée sur leur modèle. Les résultats montrent notamment que les fonctionnalités ludiques augmentent la participation des apprenants dans l'environnement, toutefois uniquement lorsqu'elles correspondent à leur profil de joueur.

Forum & Etherpad : Une analyse multi-niveaux des traces pour comprendre leur usage combiné

Temperman, Walgraeve, De Lièvre et Boumazguida s'intéressent à l'usage conjoint d'un forum de discussion et d'un outil de rédaction collaborative (Etherpad) dans le cadre de deux séquences d'apprentissage collaboratif à distance visant le développement de compétences de conceptualisation (séquence 1) et d'analyse (séquence 2). L'originalité de

cet article réside dans la méthodologie d'analyse déployée pour rendre compte de la part respective des deux outils dans le développement des compétences ciblées. Les auteurs ont mené une analyse multi-niveaux et ont exploité les traces d'activités dans les deux espaces (forum et Etherpad) pour étudier différentes variables de processus comme le niveau d'assiduité, l'équilibre des contributions, le degré de couverture conceptuelle, le degré d'argumentation et l'indice de collaboration.

Formalisation de traces perceptivo-gestuelles dans un système tutoriel intelligent dédié à la chirurgie orthopédique

Toussaint, Luengo et Jambon s'intéressent à l'analyse de connaissances perceptuelles et gestuelles dans les systèmes tutoriels intelligents. Ces connaissances s'expriment à travers les interactions de l'apprenant faisant intervenir des perceptions accompagnant les actions et/ou gestes exécutés. Ces connaissances sont difficiles à capter dans les EIAH, car cela implique l'utilisation de plusieurs périphériques produisant des traces hétérogènes difficiles à traiter dans un objectif d'analyse de l'activité d'apprentissage. Les auteurs proposent ainsi un modèle de formalisation de ce type de traces enregistrées à partir d'un Système Tutoriel Intelligent dédié à la chirurgie orthopédique percutanée, TELEOS. Le modèle permet de représenter de manière cohérente des séquences d'interactions où des connaissances perceptivo-gestuelles sont mises en jeu. L'expérimentation réalisée a démontré que les comportements de l'apprenant liés aux perceptions visuelles pouvaient être analysés de manière pertinente à partir des séquences ainsi représentées. Les résultats obtenus ont révélé une influence forte du comportement relatif aux analyses visuelles sur les erreurs commises au cours d'une session de simulation.

Tsaap-Notes ou comment augmenter l'interactivité pendant les cours en face à face

Silvestre, Vidal et Broisin présentent le processus en N phases et son implantation dans Tsaap-Notes. Tsaap-Notes est une application web qui permet à l'enseignant de poser des questions interactives pendant les cours en face à face et d'utiliser les contributions des étudiants sur les questions pour produire les feedbacks de révision. La visée du processus en N phases est double. Il s'agit d'une part, d'augmenter la participation des étudiants à la prise de notes sur les questions posées par leur enseignant et d'autre part, d'impliquer les étudiants dans l'évaluation des

notes qui constitueront les feedbacks de révision. Des phases de confrontation de points de vue et d'évaluation par les pairs ont été implantées pour répondre à ces objectifs. L'article présente une expérimentation menée sur deux groupes d'étudiants en Master Informatique pour valider l'approche.

La simulation narrative, une solution d'accompagnement des adolescents dont un parent est traumatisé crânien

Szilas, Dumas, Richle et Habonneau se proposent d'aider les adolescents dont un parent est traumatisé crânien à développer des compétences sociales qui vont leur permettre de faire face à l'handicap. Une assistance informatisée sous la forme d'une simulation narrative place ces adolescents dans une situation familiale authentique et riche en interaction. L'architecture technique intègre un moteur narratif et un environnement 3D dont la réalisation passe par un moteur de jeu. Les auteurs présentent également la méthode de co-conception utilisée pour concevoir le scénario narratif. Les qualités expérientielles et l'impact perçu de la simulation narrative ont été évalués.

Bee-Bot pour la programmation collaborative dès 5 ans

Strebelle, Mélot, Ducarme et Depover proposent aux élèves de 5-6 ans de réaliser en petits groupes (3-4 élèves) des activités de programmation du robot de sol Bee-Bot. La démarche de recherche est celle de l'observation participante. Deux types d'analyse ont été menés, une analyse inter-équipes qui rend compte de façon unifiée des actions et actes de parole sous la forme de séquences fonctionnelles, et une analyse inter-sujets qui identifie les différents profils de comportements sociaux. L'étude met ainsi en évidence 5 principaux profils, les leaders, les compétiteurs, les conciliants, les suiveurs et les désinvestis.



L'acceptation et l'appropriation des ENT (Espaces Numériques de Travail) par les enseignants du primaire

► **Elena CODREANU** (GREPS, Université Lyon2 ; LIRIS, INSA-Lyon ; Open Digital Education), **Christine MICHEL** (LIRIS, INSA-Lyon), **Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON** (GREPS, Université Lyon2), **Olivier VIGNEAU** (Open Digital Education)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article présente une évaluation des conditions d'usage d'un ENT (appelé ONE) par des enseignants du primaire. Elle est réalisée à travers deux études utilisant la théorie de l'activité comme cadre d'analyse. La première évalue les activités réelles effectuées par les enseignants sur l'ENT en analysant thématiquement le contenu des publications faites sur l'ENT, afin de comprendre comment les utilisateurs s'approprient l'outil. La seconde évalue les facteurs d'acceptation et de refus de la technologie, en décrivant la manière dont les enseignants vivent et perçoivent le rôle que l'ENT peut jouer sur l'évolution de leurs pratiques professionnelles (en les maintenant, les transformant ou les restreignant). Ces études ont permis de montrer que l'appropriation de ONE s'est produite notamment à travers les activités pédagogiques et de communication avec les parents d'élèves. L'acceptation favorable de cet ENT est due à la facilité d'usage et l'adéquation de l'interface aux enseignants et jeunes enfants.

■ **MOTS-CLÉS** • ENT, Pratiques, Usages, Enseignement primaire

■ **ABSTRACT** • *This article presents an evaluation of the conditions of use of a VWE (Virtual Work Environment) by primary school teachers. To this end, we conducted two studies and used activity theory as theoretical framework. Our first study aims to assess real practices carried out with the VWE and analyzed publications/content in order to understand how users appropriate the tool. The second study describes how teachers perceive the role of the VWE in the evolution of their working practices (maintaining, transforming and restricting the existent practices). These studies indicate that technological appropriation is achieved through instructional and communicational uses. The acceptance of this VWE is due to its ease of use and interface adequacy to teachers and young children.*

■ **KEYWORDS** • *Virtual Work Environment, Practices, Uses, Primary Education*

1. Introduction

Un ENT est un « dispositif global fournissant à son usager un espace dédié à son activité dans le système éducatif. Il est un point d'entrée unifié pour accéder au système d'information pédagogique de l'école ou de l'établissement » (Ministère de l'Éducation Nationale, 2012). Il vise à favoriser d'une part la communication et les pratiques collaboratives entre les membres d'une communauté scolaire via des services comme le blog ou la messagerie, et d'autre part les pratiques pédagogiques via des services comme le cahier de texte numérique, le cahier multimédia ou le blog.

Ces ENT sont principalement déployés dans l'enseignement supérieur et secondaire. Ils commencent à être utilisés pour l'enseignement primaire. L'ambition de cet article est de comprendre la façon dont les enseignants du primaire intègrent l'ENT à leurs pratiques professionnelles : comment et par quels moyens se déploie cette intégration ? Les enseignants développent-ils des usages spécifiques et innovants à l'aide du dispositif ? De (nouvelles) pratiques pédagogiques ont-elles émergé ou été modifiées par l'usage de l'ENT ? Quelles difficultés et contraintes suscite-t-il dans l'exercice de l'activité de ces enseignants ? Cette étude se propose de décrire les modalités d'appropriation et d'acceptation de l'ENT. L'appropriation a été étudiée sur la base d'une analyse thématique des publications faites sur l'ENT de manière à déterminer les types d'activités et d'usages réalisés. L'acceptation a été abordée sur la base d'une série d'entretiens semi-directifs. Il s'agissait d'identifier les facteurs favorisant ou s'opposant à l'adoption de l'ENT chez les enseignants. Notre objectif est de faire des propositions d'amélioration sur la conception des ENT ainsi que sur la manière d'accompagner le développement des pratiques innovantes avec les ENT. De plus, dans la mesure où les ENT sont encore peu répandus dans l'enseignement primaire, il s'agit aussi de décrire les processus d'acceptation et d'appropriation à l'œuvre dans ce contexte scolaire particulier.

L'analyse du contexte éducatif actuel montre que le métier de professeur des écoles suppose, en plus des tâches éducatives proprement dites, un travail important de communication des informations scolaires auprès des parents. Le parent est décrit comme un collaborateur au processus éducatif de l'enfant par les Inspections Générales de l'Éducation Nationale (IGEN, 2006). L'article L. 313-2 du Code de l'Éducation prévoit que « des relations d'information mutuelles sont établies entre les enseignants et chacune des familles des élèves. Elles ont notamment pour objet

de permettre à chaque famille, d'avoir connaissance des éléments d'appréciation de l'élève » (Code de l'Éducation, 2016). Ces tâches informationnelles ne sont pas totalement intégrées par les enseignants (IGEN, 2006) et souvent ces relations de coopération sont tensionnelles (Bruillard, 2011 ; Warzee *et al.*, 2006). Les enseignants considèrent en effet souvent les parents comme illégitimes sur le plan de la pédagogie, et pas assez compétents pour les accompagner dans leurs tâches éducatives (Bruillard, 2011). Ce problème de communication entre l'école et les familles existait dans le système d'enseignement primaire indépendamment de l'apparition des ENT.

Des études sur le second degré (collèges et lycées) ont montré que certains enseignants n'ont que partiellement réussi à intégrer les ENT dans leurs pratiques professionnelles. Ainsi, Prieur et Steck (2011) indiquent qu'en dépit du fait que les enseignants reconnaissent l'utilité pédagogique des ENT, ils ne sont pas prêts à les adopter pour des raisons de manque d'ergonomie, d'absence de formation, de maîtrise insuffisante des outils informatiques, de surcharge de travail et d'une résistance à étendre « l'espace-temps scolaire » hors de l'école. Poyet et Genevois (2010) identifient de leur côté des différences de culture : les ENT sont généralement pensés comme des outils de gestion pour les entreprises et ils manqueraient dès lors de « traduction » et de sens vis-à-vis du cadre scolaire. Un des moyens possibles est l'utilisation de métaphores scolaires (cahier de textes, casier) au lieu de termes bureautiques (messagerie, agenda). Poyet et Genevois montrent que la méconnaissance de l'outil et le manque de compréhension de l'utilité ou de l'intérêt pédagogique entraînent des phases d'expérimentation insatisfaisantes où les enseignants testent les différentes fonctionnalités, sans avoir toujours une représentation de leurs potentialités et de leurs limites spécifiques et conduisent à préférer l'abandon au profit, là encore, d'outils personnels connus (comme le mail personnel). Bruillard et Hourbette (2008) évoquent la complexité du déploiement des ENT qui se passe au croisement de multiples acteurs : enseignants, parents, élèves, académies, collectivités locales, éditeurs de logiciels, ministère. Ils remarquent un paradoxe entre la volonté du ministère d'ouvrir l'école aux parents d'élèves, la faible implication réelle des parents et la crainte par les enseignants d'une présumée intrusion des parents dans leurs choix pédagogiques. À ces difficultés s'ajoute l'absence de reconnaissance institutionnelle pour les enseignants qui utilisent l'ENT, une déresponsabilisation des acteurs du terrain suite à l'appel aux entreprises extérieures en

charge de concevoir l'ENT ou le risque d'inégalité voir d'exclusion de certains parents, moins équipés et formés au numérique. Missonier (2008) explique ce constat à partir des processus de conception et de déploiement des projets ENT qui sont pris en charge par les collectivités locales et les prestataires. Ces démarches manquent souvent d'efficacité car la résolution des controverses liées aux fonctionnalités ou aux usages est limitée par une transparence insuffisante du chef de projet. Cela finit par conduire à la diminution de l'engagement des différents acteurs du réseau. Prieur et Steck (2011) recommandent d'ouvrir des espaces de réflexions « articulant les pratiques actuelles des enseignants, les pratiques favorables pour accompagner l'apprentissage des compétences et les potentialités des différents outils de l'ENT de façon à construire des instrumentalisations possibles » ; l'objectif étant de trouver comment mieux adapter les usages prescrits aux contextes particuliers d'enseignement.

Voulgre (2011) introduit une dimension politique. Les enseignants adhèrent *a priori* aux arguments favorables à l'utilisation des ENT : ils apparaissent ainsi utiles pour rattraper les cours (maladie, perte des notes), pour retrouver du travail antérieur ou accompagner des élèves en difficulté scolaire. Mais le fait que tous les enfants n'aient pas Internet à la maison représente une inégalité qui les freine dans l'usage et ce refus est vécu comme une « forme de contrepuissance » envers les injonctions politiques. À l'inverse, l'un des facteurs d'acceptation est le respect de la hiérarchie, de l'institution et de la loi (obligation d'utiliser un ENT) ; d'autres concernent les valeurs de solidarité et d'entraide véhiculées par l'outil.

Louessard et Cottier (2015) ont mis en évidence dans le secondaire les effets de la classe et des établissements sur les usages globaux des ENT. En effet, le choix des services ENT est différent d'une classe à une autre et d'un établissement à un autre et cela peut jouer un rôle important sur les usages des enseignants, des élèves et des parents d'élèves. Par exemple, le choix de certains enseignants de publier des informations sportives ou relatives aux voyages scolaires peut inciter les parents d'élèves à consulter l'ENT pour accéder à ces informations, malgré un certain refus initial à utiliser la plateforme. Ainsi, l'engagement et l'investissement des enseignants peuvent modifier la construction des pratiques autour de l'ENT.

Puimatto (2009) dénonce une certaine « bureaucratisation » des ENT, qui sont principalement utilisés pour la gestion de la vie scolaire (notes et absences) et se prêteraient moins aux usages pédagogiques, auprès des

élèves. Une possible explication serait la trop grande concentration de l'État sur l'industrialisation du projet et une vision macro-organisatrice, qui fait que les utilisateurs finaux et leurs besoins réels sont « oubliés ».

Schneeweile (2012) montre que les principaux bénéficiaires des ENT sont les parents d'élèves qui semblaient avoir très bien accepté l'outil et ses fonctionnalités, alors que les enseignants ont des opinions plus mitigées: ils semblent l'accepter plutôt suite aux injonctions hiérarchiques. Les usages des ENT seraient donc plus importants dans les collèges où l'ENT est tout simplement imposé par la direction. Les enseignants s'approprient généralement l'ENT à des fins de transmissions de documents ou d'informations alors que les parents et les élèves le font à des fins de consultation de documents. L'ENT serait donc un moyen incontournable pour se tenir informé. Les enseignants qui s'opposent à l'utilisation de l'ENT dénoncent une trop grande transparence de cet outil qui permettrait un contrôle et une mise en question de leurs choix pédagogiques par les inspecteurs scolaires ou par les parents d'élèves. Globalement, les usages (de nature communicationnelle ou pédagogique) restent en dessous des attentes des autorités. Il serait difficile de mettre en place de nouvelles pratiques qui incluent l'utilisation de l'ENT.

Compte tenu de ces obstacles rencontrés dans l'enseignement secondaire, nous souhaitons connaître et analyser les types d'usages faits dans le premier degré. Nous savons que les ENT sont des outils qui visent à réaliser des usages pédagogiques ou communicationnels (Ministère de l'Éducation Nationale, 2012). Nous avons vu cependant que les tâches communicationnelles ne sont pas totalement intégrées par les parents. Dans la mesure où les ENT sont supposés être utilisés à la fois pour les tâches pédagogiques et informatives envers les parents, nous nous sommes attachés à étudier précisément comment les enseignants considèrent l'ENT pour ces types d'usage. Quelle est la nature des tâches qui nécessitent la mobilisation de l'ENT ? Vont-ils l'utiliser pour transmettre des informations aux parents ou, au contraire, vont-ils privilégier uniquement une utilisation pédagogique en classe à destination des élèves ?

Dans la deuxième étude, nous faisons l'hypothèse que les enseignants du primaire vont rencontrer certains obstacles dans l'appropriation de l'outil. On se demande donc quels sont les facteurs défavorables à l'utilisation de l'ENT et quels sont les facteurs en favorisant l'utilisation.

Compte tenu de la nouveauté du projet ENT dans le primaire, nous situons pour les deux études dans une démarche inductive et

exploratoire et non dans une démarche hypothétique. Nous allons donc partir des observations et des données issues du terrain afin de formuler des recommandations et des directions d'étude.

Pour décrire et analyser les différents facteurs liés à l'usage des ENT en contexte scolaire, nous proposons d'utiliser des modèles de l'acceptation et de l'appropriation technologique.

1.1. Une perception de l'acceptation de l'ENT

Parmi les différents modèles permettant d'évaluer l'acceptabilité technologique, le modèle du TAM (Technology Acceptancy Model) de Davis (1989) est sans nul doute l'un des plus utilisés. Il cherche à identifier les intentions ou le maintien d'usage de dispositifs par la mesure de l'utilité perçue et la facilité d'utilisation perçue. Pour autant, comme l'indique Brangier *et al.* (2009), cette approche se révèle peu adaptée pour affiner la conception et analyser l'implémentation d'un système, car elle ne considère pas les pratiques effectives à l'œuvre. Plus précisément, différentes études (Bruillard, 2011 ; Bruillard et Hourbette, 2008) ont montré que le modèle TAM n'était pas adapté pour étudier l'acceptabilité des plateformes éducatives pour plusieurs raisons comme l'insuffisance méthodologique du modèle (structure factorielle qui n'est pas systématiquement répliquée, utilisation du questionnaire comme unique méthode d'évaluation) ou encore l'inadéquation au terrain éducatif. Le TAM apparaît donc comme un modèle prédictif et déterministe qui reste circonscrit aux facteurs sociocognitifs individuels et ne prend pas en compte le contexte d'utilisation de la technologie propre au milieu éducatif : cadre réglementaire, programme scolaire, relation avec les familles, histoire et pratiques professionnelles.

D'autres approches, d'inspiration ergonomique, ont traité la problématique de l'acceptabilité des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH). Tricot *et al.* (2003) ont ainsi adapté le modèle de Nielsen au contexte scolaire. En effet, dans le modèle de Nielsen, l'acceptabilité et la décision d'utiliser une technologie dépendent de deux critères : sa facilité d'usage et son utilité pour les utilisateurs. Tricot montre que, dans le cadre scolaire, l'utilisation des technologies reste faible en dépit du fait qu'elles sont faciles d'utilisation et utiles pour l'éducation. Tricot définit l'acceptabilité d'un EIAH comme « la valeur de la représentation mentale (attitudes, opinions... plus ou moins positives) à propos d'un EIAH, de son utilité et de son utilisabilité » (p. 396). Il propose dans son modèle d'évaluer conjointement l'acceptabilité, l'utilité et

l'utilisabilité d'un l'outil à l'aide de tests utilisateurs ou d'inspections ergonomiques. Selon lui, ces trois dimensions sont complémentaires et liées par des relations. Ce modèle reste cependant circonscrit aux caractéristiques techniques de l'EIAH et aux facteurs d'utilisation, que Tricot appelle les aspects « pratiques ». Il ne prend pas en compte le contexte socioculturel du milieu d'implantation ou le rôle de la communauté (collègues ou hiérarchie) dans l'adoption d'une technologie, ce qu'il nomme les aspects « sociaux ». Aussi, pour appréhender ces différents aspects dans toute leur richesse et complexité, nous proposons d'utiliser la théorie de l'activité.

1.2. Une inscription de l'acceptation et de l'appropriation dans l'activité

Une troisième approche théorique est l'approche socio-constructiviste qui utilise le concept théorique d'appropriation. Pour comprendre l'appropriation d'une technologie, il faut se centrer sur son inscription dans un contexte social spécifique. La théorie de l'activité, détaillée par Engeström *et al.* (1999) propose de qualifier les éléments du contexte d'usage en considérant différents aspects intervenant dans la réalisation de l'activité. En effet, plutôt que de parler d'usage, la théorie de l'activité propose de parler de système d'activité : l'utilisateur a un objectif précis, le réalise en utilisant des instruments (outils) et s'inscrit socialement dans une communauté (l'ensemble de personnes qui interviennent dans une activité) elle-même liée à des règles de fonctionnement (les normes et les règles à respecter dans une activité), et une division du travail (la manière dont les rôles sont distribués entre les sujets). Les systèmes d'activité sont caractérisés par des contradictions (ou tensions internes) qui favorisent et déclenchent l'innovation ; ces changements sont source de développement. Ainsi la théorie de l'activité nous semble utile pour qualifier le contexte, mais aussi les dynamiques d'acceptation et d'appropriation technologiques.

Dans le cadre de notre recherche, le système d'activité des enseignants a pour objet les pratiques enseignantes quotidiennes. Elles sont réalisées avec ou sans instrument. En effet, la plupart des pratiques des enseignants ont un caractère pédagogique (envers les élèves) ou communicationnel (envers les parents), et sont complétées par l'utilisation d'instruments comme le tableau, des affiches, des cahiers (Karasavvidis, 2009). Ces pratiques suivent les règles de fonctionnement propres au système scolaire et s'inscrivent dans une communauté éducative formée par les

enseignants, les élèves, les parents. La division du travail décrit la pratique effective du métier et la répartition des tâches entre les acteurs. Dans l'éducation et le suivi des élèves, les enseignants et les parents travaillent ensemble, mais dans des contextes différents. Chaque acteur a ainsi sa part de responsabilités bien délimitée. Avec l'arrivée d'un nouvel outil technologique, qui sera utilisé à la fois en classe et à la maison, ces rôles et ces identités différentes peuvent entrer en conflit.

Selon Engeström *et al.* (1999), l'appropriation d'une technologie ne se fait pas sur un terrain neutre, mais dans un maîtrise signifie savoir utiliser différents moyens médiateurs sans difficulté, l'appropriation signifie prendre quelque chose qui appartient aux autres et le faire sien. Cela doit être interprété dans le sens d'une adaptation de l'outil à ses propres pratiques. L'appropriation est selon Jonsson (2007), « le processus graduel à travers lequel les participants deviennent de plus en plus performants dans l'utilisation d'un outil » (p.11). À la différence de la maîtrise, qui suppose l'acquisition d'une compétence, l'appropriation inclut, en plus d'une compétence technique, celle d'utiliser la technologie pour mener un travail innovant dans un contexte donné. L'appropriation serait donc profondément liée à la notion de changement. Utiliser un éditeur de texte à l'école ne change pas beaucoup les pratiques mais pouvoir faire des modifications sur un texte numérique sans avoir à le copier peut changer l'importance accordée traditionnellement à l'écriture. Ce sont l'usage et l'appropriation qui donnent de la valeur à la technologie. L'appropriation représente donc « la maîtrise de l'action du travail par celui qui l'exécute et les modifications induites dans ce qui avait été prévu par les concepteurs » (Bernoux, 2004, p. 56). Pour Rogoff (1995), l'appropriation est « le processus selon lequel les individus transforment leur compréhension des activités à travers leur propre participation (à ces activités) » (p.150). Ici, l'auteur parle surtout des outils culturels, comme le langage, les procédures et les technologies. L'approche instrumentale de Rabardel (1995) va dans la même direction. Pour lui, l'appropriation représente le processus d'intégration d'un nouveau dispositif dans des pratiques et des manières de faire préexistantes. Pour Rabardel, un instrument ne se réduit pas au simple artefact technique, il contient en plus des modes opératoires qui sont construits par l'humain, appelés schèmes d'utilisation. Les schèmes peuvent être préexistants ou nouvellement attribués par l'utilisateur et peuvent mener à la modification de l'artefact. L'appropriation est le processus qui favorise la formation des schèmes d'utilisation et la transformation des artefacts en instruments au

sein des activités humaines (Rabardel, 1995). Selon cet auteur, la genèse instrumentale représente la transformation d'un artéfact (constitué uniquement de la machine et du système d'opération) en instrument (constitué d'un artéfact et d'un schème d'utilisation) et représente une conceptualisation (au plan des instruments) des processus d'appropriation. Ainsi, les genèses instrumentales sont témoins du processus d'appropriation. Cette approche d'inspiration constructiviste suggère qu'il n'y a pas de relation unilatérale technologie-individu et que les deux s'influencent réciproquement : l'individu attribue du sens à la technologie en se l'appropriant et se laisse influencer à son tour par la technologie en modifiant ses pratiques-système complexe de pratiques préexistantes. Une technologie ne prend sens qu'au moment de l'interaction humaine qui la façonne et l'adapte continuellement. Wertsch (1998) sépare la notion d'appropriation de celle de maîtrise d'un outil. Pendant que la maîtrise signifie savoir utiliser différents moyens médiateurs sans difficulté, l'appropriation signifie prendre quelque chose qui appartient aux autres et le faire le sien. Cela doit être interprété dans le sens d'une adaptation de l'outil à ses propres pratiques. L'appropriation est selon Jonsson (2007), « le processus graduel à travers lequel les participants deviennent de plus en plus performants dans l'utilisation d'un outil » (p.11). À la différence de la maîtrise, qui suppose l'acquisition d'une compétence, l'appropriation inclut, en plus d'une compétence technique ; celle d'utiliser la technologie pour mener un travail innovant dans un contexte donné. L'appropriation serait donc profondément liée à la notion de changement. Utiliser un éditeur de texte à l'école ne change pas beaucoup les pratiques, mais pouvoir faire des modifications sur un texte numérique sans avoir à le copier peut changer l'importance accordée traditionnellement à l'écriture. Ce sont l'usage et l'appropriation qui donnent de la valeur à la technologie. L'appropriation représente donc « la maîtrise de l'action du travail par celui qui l'exécute et les modifications induites dans ce qui avait été prévu par les concepteurs » (Bernoux, 2004, p. 56). Pour Rogoff (1995), l'appropriation est « le processus selon lequel les individus transforment leur compréhension des activités à travers leur propre participation (à ces activités) » (p. 150). Ici, il parle surtout des outils culturels, comme le langage, les procédures et les technologies. L'approche instrumentale de Rabardel (1995) va dans la même direction. Pour lui, l'appropriation représente le processus d'intégration d'un nouveau dispositif dans des pratiques et des manières de faire préexistantes. Pour Rabardel, un instrument ne se réduit pas au simple artéfact technique, il contient en plus des modes opératoires qui sont

construits par l'humain, appelés schèmes d'utilisation. Les schèmes peuvent être préexistants ou nouvellement attribués par l'utilisateur et peuvent mener à la modification de l'artéfact. L'appropriation est le processus qui favorise la formation des schèmes d'utilisation et la transformation des artéfacts en instruments au sein des activités humaines (Rabardel, 1995). La genèse instrumentale représente la transformation d'un artéfact (constitué uniquement de la machine et du système d'opération) en instrument (constitué d'un artéfact et d'un schème d'utilisation) et représente selon cet auteur une conceptualisation, au plan des instruments, des processus d'appropriation. Ainsi, les genèses instrumentales sont témoins du processus d'appropriation. Cette approche d'inspiration constructiviste suggère qu'il n'y a pas de relation unilatérale technologie-individu et que les deux s'influencent réciproquement : l'individu attribue du sens à la technologie en se l'appropriant et se laisse influencer à son tour par la technologie en modifiant ses pratiques.

Nous constatons ainsi que la principale notion mobilisée est l'appropriation et il n'y a pas de distinction précise entre la notion d'appropriation et celle d'acceptation. Bobillier-Chaumon (2016) considère que l'appropriation d'un outil technologique représente une condition préliminaire pour que l'outil soit accepté. Lorsqu'un individu s'approprie un outil, il y apporte une contribution qui lui permet de s'y reconnaître, de le « faire sien », de lui donner un sens et donc de l'accepter. L'acceptation située est ainsi définie « comme la façon dont un individu, mais aussi un collectif, une organisation, perçoivent au gré des situations quotidiennes les enjeux liés à ces technologies (atouts, bénéfiques, risques, opportunités) et y réagissent (favorablement ou non) » (p. 362). Ainsi, l'adoption d'une technologie s'inscrirait sur un continuum allant des représentations a priori d'un système jusqu'à des formes d'acceptation construites sur la base des usages réalisés. Nous retrouverons une approche similaire chez Alter (2000) qui signale que ce ne sont pas les technologies elles-mêmes qui ont de la valeur mais la capacité des utilisateurs à s'en servir de manière créative, en détournant l'usage. Selon cet auteur, c'est la création du sens qui compte le plus dans l'innovation. Les dirigeants devraient renoncer au caractère formel de la technologie et laisser aux utilisateurs des marges d'interprétation de celle-ci. Dans la même direction, Orlikowski (1992) affirme que la technologie seule dans une organisation n'a aucune signification. Une fois créée et introduite dans l'organisation, la technologie reste « non animée » jusqu'au moment où elle prend du sens dans l'usage et est manipulée directement ou indirectement.

Le tableau 1 présente une synthèse des différentes approches théoriques et notre propre choix de positionnement pour structurer l'analyse.

Tableau 1 • Distinction entre les différentes approches théoriques

Approche théorique	Auteur	Explication de l'acceptation et de l'appropriation	
TAM	Davis, 1989	L'acceptation est définie par les perceptions des utilisateurs.	
Ergonomique	Tricot, 2003	L'acceptation dépend de l'utilisabilité et l'utilité du système.	
Socio-constructiviste	Rabardel, 1999	L'appropriation est le processus qui favorise la formation des schèmes d'utilisation et la transformation des artefacts en instruments au sein des activités humaines.	
	Rogoff, 1995	L'appropriation est la transformation des activités.	
	Bernoux, 2004,	La maîtrise de l'outil de travail et les innovations apportées.	
	Bobillier-Chaumon, 2016	Différenciation entre appropriation (vue comme la maîtrise d'un outil) et l'acceptation (vue comme la décision de continuer à utiliser l'outil). Les deux processus s'inscrivent dans une situation d'usage. L'appropriation est antérieure à l'acceptation (Bobillier-Chaumon, 2016).	→ Nous avons retenu ce modèle et cette explication

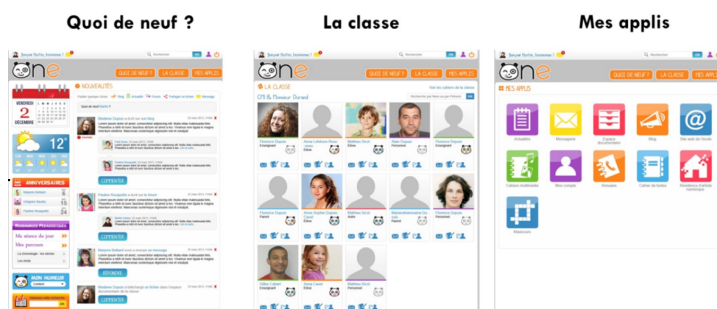
Sur cette base, nous proposons d'analyser conjointement l'appropriation et l'acceptation de l'ENT ONE par les enseignants en considérant respectivement les usages concrets et les représentations liées à l'ENT exprimés au cours d'entretiens.

2. Étude de l'appropriation de ONE

Cette étude a pour objectif d'identifier et analyser les types et volumes d'usage des utilisateurs de l'ENT, à savoir les enseignants, les enfants et les parents, après 6 mois à 1 an d'utilisation, de manière à mieux appréhender leurs modalités d'appropriation et de mieux comprendre ce qui les sous-tend. L'appropriation sera évaluée à travers l'étude des usages des différents services de l'environnement numérique (nature, volume et fréquence) et aussi des usages innovants qui ont pu être développés avec l'ENT ONE.

2.1. Description de l'outil

L'ENT ONE utilisé dans cette étude a été conçu spécialement pour le premier degré en respectant les principes ergonomiques des interfaces adaptées aux enfants (Budiou et Nielsen, 2010 ; Lueder et Rice, 2007). Ainsi, l'interface de ONE paraît simple, intuitive et attrayante (voir figure 1). Les fonctions de collaboration proposées sont la messagerie, le blog et l'espace documentaire. ONE propose de plus, des fonctions de personnalisation (mon compte, mon humeur), de notification (fil de nouveautés, anniversaire) et d'organisation (calendrier) et un site d'école. Chaque utilisateur a la possibilité de personnaliser son profil avec une photo et des informations personnelles (devise, humeur du jour, informations sur les préférences en termes de loisirs, cinéma, musique, alimentation). Les élèves sont inclus par défaut dans le groupe constitué de leur classe et ont accès aux contenus publiés dans ce groupe par leur enseignant.



**Figure 1 • Interfaces des pages « Fil de nouveautés »
« La classe » et « Mes applis » de l'ENT ONE**

L'ENT a été implémenté dans 12 écoles des Académies de Versailles et de Caen pendant une phase d'expérimentation de 2 années scolaires (2014-2015 et 2015-2016). Il s'agit d'une étape obligatoire avant la généralisation de l'ENT à un territoire plus vaste. Il n'y avait pas à ce moment-là d'injonction de la part de l'Etat concernant l'utilisation des ENT dans l'enseignement primaire. La participation à cette étape d'expérimentation s'est donc faite volontairement. La phase d'expérimentation est une étape menée en collaboration entre l'éditeur informatique (Open Digital Education), les représentants de l'État et du Ministère de l'Éducation c'est-à-dire les IEN (Inspecteurs de l'Éducation Nationale), les collectivités locales (mairies et communautés de communes) et les acteurs finaux (directeurs d'écoles, enseignants). Les conditions de déploiement de la phase d'expérimentation ont été négociées entre ces acteurs. Dans

notre cas, dans chaque école un référent ENT a été nommé parmi les enseignants. Ce référent était formé à l'ENT et pouvait former ensuite ses collègues. L'accompagnement et la formation étaient assurés par les animateurs TICE¹ des écoles et/ou par l'équipe technique de Open Digital Education. Le type d'accompagnement nécessaire à la phase d'expérimentation (réalisée à une échelle plus restreinte) est plus important que celui nécessaire à la phase de généralisation car l'outil est en continuelle évolution ; son fonctionnement peut changer pendant cette phase où de nouveaux services peuvent être proposés.

2.2. Collecte des données

Au moment de l'étude, deux services de l'ENT ONE étaient déployés sur l'ensemble de la population d'utilisateurs observé : le cahier multimédia et le blog. L'étude d'usage est donc centrée sur ces deux fonctionnalités. Ces deux services se ressemblent par le fait que les utilisateurs peuvent y publier du contenu, comme des articles autour de la vie de la classe, de leçons, des textes rédigés par les élèves eux-mêmes. Ils sont tous les deux utilisables pour répondre à des besoins de type pédagogique ou communicationnel. Par exemple, avec les deux services il est possible de publier des contenus à visées pédagogiques (comme des leçons, des exercices) ou des contenus à visées informationnels à destination des parents (comme les photos des activités sportives, le journal de vie de la classe). Le blog et le cahier permettent de publier des contenus multimédias c'est-à-dire combinant du texte, des images, des vidéos ou des fichiers audio (voir figures 2 et 4). Les publications des élèves sont modérées et corrigées. En effet, la fonction « Validation de billets soumis » permet aux enseignants de lire et corriger les contributions des élèves avant de valider leur publication. La différence entre le blog et le cahier multimédia est de forme : le blog permet de publier des billets, alors que le cahier permet de publier des pages, qui sont visibles avec un défilement similaire au cahier papier.

Nous avons pu accéder aux blogs et cahiers multimédias des classes par l'intermédiaire d'un compte invité, ouvert avec l'autorisation des enseignants et de la direction, dans chaque école étudiée. En effet, les ENT fonctionnent sur la base de comptes personnels ayant une authentification unique. Aucune consultation n'est possible sans cet accès. Nous avons observé les publications réalisées sur l'ENT ONE par 26 enseignants et 71 élèves de 12 écoles différentes des Académies de Caen et Versailles entre septembre 2014 et juin 2015. Ce corpus d'analyse est composé de

**Elena CODREANU, Christine MICHEL,
Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON, Olivier VIGNEAU**

1102 publications (voir tableau 2). Notre étude concerne donc, à ce stade, uniquement les activités de publication. Pour évaluer l'appropriation à partir des activités de consultation, nous avons prévu d'analyser dans une étude ultérieure les statistiques de connexion à la plateforme.



Figure 2 • Exemple de thématique communicationnelle sur le Blog

2.3. Critères d'analyse

Les publications ont été catégorisées en fonction de l'auteur, de son cycle d'apprentissage et du thème de la publication. Les auteurs sont de trois types : enseignant, élève, parent. Les cycles d'apprentissage sont de trois types également : C1, C2, C3. En effet, l'école primaire est organisée en trois cycles pédagogiques (Ministère de l'Éducation Nationale, 2013) : le cycle des apprentissages premiers (Cycle1) constitué de l'école maternelle ; le cycle des apprentissages fondamentaux (Cycle 2) qui commence avec le cours préparatoire (CP) et se poursuit avec le cours élémentaire première année (CE1) et deuxième année (CE2) et le cycle de consolidation (Cycle 3) qui s'étend du cours moyen première année (CM1) jusqu'à la classe de sixième qui est dans le secondaire.

Une première lecture de l'ensemble des publications faites sur les blogs et cahiers accessibles a permis d'identifier 5 thèmes de publications : communicationnelles internes, communicationnelles externes, pédagogiques individuelles, pédagogiques collaboratives et loisirs. Elles seront décrites plus précisément dans la suite.

2.4. Résultats

2.4.1. Volumes et auteurs des publications par type de service

Le tableau 2 décrit la distribution de publications faites par les enseignants et les élèves sur le blog et le cahier multimédia. On constate que sur le nombre total de 1102 publications, 946 sont effectuées sur le service Blog et 156 sur le Cahier Multimédia. Les enseignants publient plus massivement sur le blog que sur le cahier (796 vs. 44) alors que les volumes sont plus équilibrés pour les élèves (150 vs. 112). Les parents n'ont fait aucune publication.

Tableau 2 • Distributions de publications sur le Blog et le Cahier Multimédia

Type de service	Auteur			Total
	Elèves	Enseignants	Parents	
Blog	150	796	0	946
Cahier multimédia	112	44	0	156
Total	262	840	0	1102

L'absence de publication des parents peut s'expliquer par le fait que dans la quasi-totalité des écoles étudiées, les enseignants avaient choisi de ne pas ouvrir aux parents le droit de publier du contenu sous forme d'article de blog ou de cahier multimédia. Les enseignants considèrent que le rôle des parents doit se limiter à la consultation des informations publiées sur l'ENT et ne doivent pas avoir la fonction de contributeur actif. Ce constat a été fait suite à notre immersion sur le terrain et la connaissance du milieu. Lorsque nous aurons analysé les statistiques de connexion, nous pourrons apporter des éléments complémentaires de discussion sur l'implication des parents en regard du rôle que les enseignants leur ont assigné.

2.4.2. L'analyse de thématiques de publications

L'analyse thématique des publications a donc révélé 5 types de publications: (1) communicationnelles externes, (2) communicationnelles internes, (3) pédagogiques individuelles, (4) pédagogiques collectives et (5) loisirs.

Le thème 1 correspond à des publications relatives aux activités réalisées à l'extérieur de l'école comme des photos et descriptifs sur les sorties cinéma, piscine, les voyages scolaires, les visites au collège, maison de retraite, etc.

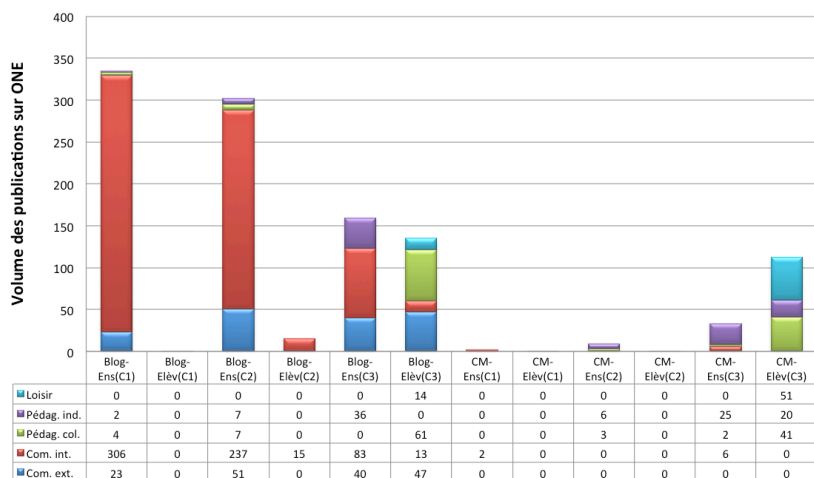


Figure 3 • Volumes des thématiques par auteur, cycle et type de services (Blog et Cahier Multimédia)

Tableau 3 • Distribution des publications en fonction du cycle d'apprentissage, de la thématique et de l'auteur.

Auteurs (Cycles)	Thématiques de la publication					Total
	Com. ext.	Com. int.	Pédag. ind.	Pédag. collec.	Loisirs	
Cycle 1	23 (7 %)	308 (91,5 %)	2 (0,5 %)	4 (1 %)	0 (0 %)	337
Cycle 2	51 (16 %)	252 (77 %)	13 (4 %)	10 (3 %)	0 (0 %)	326
Cycle 3	87 (20 %)	102 (23 %)	81 (18 %)	104 (24 %)	65 (15 %)	439
Total enseignants	114 (14 %)	634 (75 %)	76 (9 %)	16 (2 %)	0 (0 %)	840
Total élèves	47 (18 %)	28 (10 %)	20 (8 %)	102 (39 %)	65 (25 %)	262
Total	161 (15 %)	662 (60 %)	96 (9 %)	118 (11 %)	65 (5 %)	1102

Le thème 2 correspond à des publications en lien avec les activités réalisées dans la classe ou à l'intérieur de l'école (comme la photo du cours de gymnastique, les photos des fêtes d'anniversaire). Le thème 3 correspond à des publications liées à des activités pédagogiques individuelles réalisées avec ou via l'ENT comme la rédaction de textes par les élèves, la publication de vidéos éducatives, la publication de comptines, de dessins d'exercices de mathématiques ou de grammaire (voir figure 4). Le thème 4 correspond à des publications équivalentes mais pour des activités faites en collaboration avec d'autres élèves (comme des projets de classe réalisés par groupe d'élèves). Le thème 5 correspond à des publications qui décrivent des activités extrascolaires liées à la musique, le sport, des voyages, etc. Les thèmes 1 et 2 sont à destination des parents. Les thèmes 3, 4 et 5 sont à destination des enseignants et/ou des élèves, mais peuvent également être ouverts aux parents.

La figure 3 décrit le nombre de thématiques couvertes par auteur, cycle et type de services (Blog ou Cahier Multimédia) et le tableau 3 récapitule les résultats obtenus, en volume et pourcentage par cycle et type d'auteur.

Le tableau 3 montre que 75 % des publications totales sont à vocation communicationnelle, alors que 20 % sont à destination pédagogique et seulement 5 % à destination de loisirs. De plus, les publications sont réalisées principalement par des enseignants (840) et moins par des élèves (262) alors qu'unitairement les enseignants sont moins nombreux (34) que les élèves (71). L'appropriation de ONE se fait donc principalement par le biais de la communication à destination des parents et des élèves. Cela correspond également à ce que nous avons constaté pendant les discussions informelles réalisées avec les enseignants. Au début, lorsque les enseignants observent pour la première fois l'ENT, les premiers usages qu'ils se représentent concernent la mise en ligne de photos des activités réalisées à l'école à destination des parents. Sur ces usages communicationnels se greffent, plus tard, des usages pédagogiques : mise en ligne des comptines, des vidéos éducatives, des consignes d'exercices visant à impliquer les élèves et les inciter à rédiger leurs propres textes.

L'analyse de la distribution des thématiques par cycle à partir du tableau 3, montre que 91,5 % des publications faites dans le cycle 1 sont de type information école, 7 % des publications font référence à des activités extérieures à l'école, seulement 1 % concerne des publications pédagogiques. Presque toutes les publications du cycle 1 sont faites sur le blog

**Elena CODREANU, Christine MICHEL,
Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON, Olivier VIGNEAU**

(voir figure 3). Toutes les publications sont faites par les enseignants. Les élèves ne sont pas suffisamment autonomes et ne maîtrisent pas l'écriture et la lecture à l'école maternelle.

Dans le cycle 2 (CP, CE1 et CE2), les enseignants restent encore les principaux auteurs avec 95 % des publications réalisées. Quelques élèves commencent à publier, en particulier sur le blog. La proportion de publications communicationnelles relatives aux activités internes diminue légèrement (à 77 %), laissant la place à des informations relatives aux sorties scolaires (15 %). La proportion de publications de nature pédagogique reste également assez limitée (seulement 7 % en total). Ces publications correspondent pour les enseignants à des leçons, des comptines, des vidéos éducatives et pour les élèves à des textes rédigés à la demande des enseignants. La connaissance du terrain nous montre que les activités réalisées avec l'ENT sont souvent optionnelles. L'intérêt pour les enseignants est de familiariser les élèves à l'ENT et leur donner des moyens de l'expérimenter simplement, plutôt que l'utiliser pour réaliser des projets pédagogiques complexes. À titre d'exemple, une enseignante de CP a réalisé un cahier multimédia musical pour recueillir des comptines d'autrefois fournies par des parents d'élèves et des grands parents et a ensuite organisé des rencontres musicales avec les parents et grands-parents volontaires pour chanter avec les élèves. Il s'agissait d'un projet intergénérationnel et collaboratif, où les élèves pouvaient apprendre et chanter ces comptines disparues, accompagnés par des aînés. L'ENT a été utilisé pour recueillir des notes musicales, le texte des comptines mais aussi des fichiers audio. Ces supports ont été rendus accessibles à tous les acteurs, enseignants, élèves, parents, en classe comme à la maison.



**Figure 4 • Exemple de thématique pédagogique
(rédigé par un élève)**

Dans le cycle 3 (CM1 et CM2), les proportions changent. La place des élèves augmente, car ils produisent 56 % des publications totales du cycle 3. Les pourcentages de publications communicationnelles baissent à 23 % (pour les informations internes) et 20 % (pour les externes). À l'inverse, la proportion de publications pédagogiques augmente à 18 % pour les activités individuelles et à 24 % pour les activités collaboratives. De plus, 15 % de publications sont relatives aux loisirs alors que ce type était complètement absent des cycles 1 et 2. Rappelons que ces publications de type Loisirs sont faites à l'initiative des élèves et non pas à la demande des enseignants, dans le but de partager avec les autres élèves des informations sur leurs activités extrascolaires sportives, familiales ou culturelles (conformément à notre connaissance du terrain). Les élèves étant plus autonomes à ce niveau, ils arrivent à maîtriser la plupart des fonctionnalités de l'ENT et peuvent donc respecter les consignes des enseignants pour rédiger en relative autonomie des publications, soit sur le cahier multimédia, soit sur le Blog.

Les élèves de cycle 3 réalisent une partie des tâches précédemment réservées aux enseignants comme la publication du journal de vie de la classe, avec des informations sur les activités en classe ou extérieures (sorties cinéma, voyages scolaires). D'ailleurs, l'observation en contexte nous a permis de comprendre que les enseignants attribuent une connotation pédagogique à quasi toutes les publications réalisées par les élèves. Par exemple, lorsqu'un élève rédige un billet de blog à destination des familles qui décrit une sortie scolaire, cette activité permet aussi à l'élève de développer des aptitudes spécifiques comme la capacité d'utilisation d'un outil numérique, la capacité de structurer correctement un texte, de travailler l'orthographe, le résumé, etc. Ce type de rédaction a donc un rôle initial communicationnel et reçoit ultérieurement un deuxième rôle, pédagogique. Ce type d'activité à double connotation, scolaire et communicationnelle, représente un usage original. C'est un exemple typique de nouvelle pratique réalisée à l'aide de la technologie.

Une caractéristique est commune à toutes les publications, toutes les classes et tous les niveaux confondus : la dimension ludique et humoristique. En effet, les élèves, comme les enseignants, créent des blogs ou des cahiers autour des sujets « moins sérieux » comme des blagues, des charades, des informations insolites, des photos d'animaux, des concours de mathématiques interclasses comportant une « énigme » à résoudre. Ces types de publications, autour du jeu, du rire, de la compétition ludique sont des modes très favorables d'appropriation de l'ENT car ils favorisent

**Elena CODREANU, Christine MICHEL,
Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON, Olivier VIGNEAU**

le partage et l'intégration de l'outil à la culture et aux pratiques scolaires de l'école primaire. L'appropriation de l'outil se fait donc aussi par des phases d'expérimentation où les enseignants vont avec les élèves inventer ou adapter de nouvelles possibilités offertes par l'ENT et juger comment il peut répondre aux besoins spécifiques des enfants les plus jeunes. Les blogs et les cahiers créés autour de ces sujets deviennent un miroir « numérique » de la classe, une représentation des expériences et des émotions vécues en classe à travers le choix des textes et des images publiées et commentées. Ces observations nous permettent de conclure que les enseignants et les élèves ont adapté l'ENT et ses fonctionnalités à leurs pratiques scolaires.

Le fait qu'un quart des publications faites au cycle 3 soient collaboratives (104 sur 439, voir tableau 2) signifie que les enseignants accordent une place importante aux tâches faites en groupe (comme le cahier de voyage réalisé à deux). Les enseignants préfèrent faire travailler les élèves ensemble pour leur permettre de s'entraider et aussi dans une logique de transmission des connaissances informatiques. Ainsi, les élèves moins indépendants peuvent apprendre à utiliser l'ENT avec l'aide d'un autre élève « expert ». Ces nouvelles formes de collaboration sont réalisées en classe mais aussi à distance. En effet, le cahier de voyage est complété par les élèves à la maison ou à l'école. Ce type d'usage est également innovant car la collaboration à distance n'était pas possible auparavant.

Nous avons donc vu trois exemples d'usages innovants. L'ENT représente pour les enseignants une nouvelle façon d'enseigner, d'informer et de renforcer les compétences des élèves.

2.4.3. Bilan sur l'étude de l'appropriation de ONE

Nous retenons de cette étude une appropriation principale de l'ENT ONE à travers la possibilité de communication avec les parents. Ainsi, les enseignants peuvent mettre beaucoup plus de photos que dans les cahiers papiers. Ils peuvent aussi poster des fichiers multimédias comme les vidéos des élèves. Ces résultats sont intéressants car ils semblent contredire les études qui affirment une non-intégration de la part des enseignants des pratiques communicationnelles à destination des familles (Bruillard, 2011). Les enseignants refuseraient ces pratiques communicationnelles tournées vers les parents car ils craignent une implication trop forte de certains parents dans la vie de l'école, une intrusion dans leurs propres pratiques et une critique des personnes non-enseignantes et donc illégitimes à leurs yeux (Monceau, 2009). L'ENT ONE aurait donc un

rôle positif, car il favorise cette tâche normalement refusée. On peut donc conclure que les enseignants du primaire semblent favorables à l'ouverture de l'école auprès des familles.

Dans un second temps, l'appropriation est construite à partir des usages pédagogiques comme la publication des comptines, des exercices ou des textes rédigés par les enfants eux-mêmes. Ce type d'usage est intéressant car il correspond : à la publication de contenus à double connotation (communicationnelle et pédagogique) et à la possibilité de faire publier alternativement les enseignants et les élèves. La distinction entre le travail de l'enseignant et celui de l'élève est, pour ce cas précis, effacée. De plus, une publication faite sur l'ENT est une forme de valorisation collective car elle est visible par l'ensemble des parents, d'élèves et les autres enseignants.

Si l'on considère que l'appropriation se fait lorsqu'une technologie devient « la sienne », lorsqu'elle s'intègre dans le contexte spécifique de travail des utilisateurs (Bobillier-Chaumon, 2016 ; Engeström *et al.*, 1999) on peut constater que les différentes dimensions du contexte éducatif ont été touchées. En effet, les utilisateurs se sont approprié l'outil pour répondre à des objectifs de pédagogie, de transmission de connaissances, et de communication avec les parents. L'ENT est devenu un reflet fidèle et un support pour les activités pédagogiques, récréatives et ludiques réalisées en classe. L'appropriation de l'ENT s'est faite par des phases d'expérimentation successives. Les enseignants et les élèves ont expérimenté plusieurs types d'activités sur l'ENT. Certaines se sont pérennisées (comme les cahiers collaboratifs) alors que d'autres ont été abandonnées (comme les énigmes mathématiques) en fonction des expériences vécues et de la valeur attribuées par les initiateurs. L'appropriation de l'ENT ONE a été effective car les utilisateurs ont eu la possibilité d'imaginer des activités et de les tester en contexte et ainsi d'avoir un jugement sur celles qui sont les plus efficaces et valorisantes pour eux.

Cette étude a montré les pratiques des enseignants avec l'ENT. Dans l'étude suivante nous avons évalué, à l'aide d'entretiens, le ressenti des enseignants et les éventuelles tensions liées à l'utilisation de ONE.

3. Étude de l'acceptation de ONE

L'étude de l'acceptation a été centrée sur les déclarations des enseignants autour de l'utilisation de l'ENT. Elle a permis d'identifier le ressenti ainsi que le vécu des enseignants vis-à-vis de la technologie et les

éventuels problèmes rencontrés. L'objectif était d'affiner l'interprétation des usages et de faire des recommandations d'amélioration à la fois sur la conception de l'outil mais aussi de son déploiement, en particulier concernant la formation et l'accompagnement. L'acceptation est évaluée à travers l'identification dans le discours des enseignants des situations et/ou des pratiques médiatisées qui peuvent montrer soit un effet favorable et bénéfique de ONE sur l'activité (en termes de maintien, de développement, de valorisation, d'innovation), soit au contraire un effet négatif et défavorable sur leur travail (empêchement, restriction, contraintes, dépréciation).

Notre démarche est essentiellement qualitative. Elle repose sur des entretiens semi-directifs (intégralement retranscrits) réalisés auprès des enseignants de manière à appréhender leur activité professionnelle ainsi que leurs différentes contraintes dans l'exercice de leur métier et dans l'usage de l'ENT pour leurs diverses pratiques. Nous avons cherché aussi à recueillir leurs représentations et attentes vis-à-vis du dispositif. Ces corpus ont fait l'objet d'un traitement systématisé selon la méthode d'analyse thématique de contenu (Bardin, 1996).

3.1. Milieu d'implantation

Tous les participants de notre étude font partie des Académies de Versailles et Caen (6 écoles de l'Académie de Versailles et 6 écoles de l'Académie de Caen). Ils ont accepté de manière volontaire d'expérimenter l'ENT ONE pendant 2 ans. Au moment de notre étude 26 enseignants (sur les 2 académies) s'étaient déclarés volontaires pour faire l'expérimentation et avaient utilisé l'ENT ONE sur une période allant de 3 à 6 mois. Ces enseignants sont un échantillon de ceux dont les publications ont été analysées dans l'étude précédente. Les deux études ont été réalisées sur la même période de temps, l'année scolaire 2014-2015.

3.2. Participants

Huit enseignants ont été interrogés durant 4 entretiens individuels et lors de 2 entretiens collectifs (avec 2 enseignants chacun). Parmi les enseignants, 2 sont directeurs d'école et assurent des cours (en CP et CM2). Les autres enseignants interviennent dans les classes de CP (2), CE1 (1) et CM2 (3). Le groupe de participants est composé de sept femmes et d'un homme. Les écoles sont toutes situées en milieu urbain, dans l'Académie de Versailles (6) et de Caen (2). L'âge moyen des répondants était de 46 ans, ils ont une ancienneté moyenne dans la structure de 8 années et une ancien-

neté dans la profession de 16 années. La relation avec les parents se fait traditionnellement par le cahier de correspondance papier, au téléphone ou en face à face. Tous sont par ailleurs des utilisateurs novices dans l'ENT : ils n'ont jamais utilisé auparavant de dispositif équivalent dans le cadre de leur enseignement. Ils ont cependant tous utilisé les ordinateurs pour préparer les leçons et certains ont un usage fréquent du tableau numérique interactif en classe (5 sur 8 enseignants).

3.3. Collecte des données

Chaque enseignant a participé à un entretien semi-directif. Les entretiens, d'une durée d'1h 30 en moyenne, abordaient les thèmes suivants : expérience avec les TICE (Technologies d'information et de Communication pour l'Éducation), équipement informatique de l'école, représentation de l'ENT, besoins par rapport à l'ENT, utilité de l'ENT, facilité d'usage et intention d'usage, difficultés d'utilisation, conditions d'exercice et d'implication dans la profession d'enseignant. Ayant la possibilité de parler librement, ils ont pu donner un avis critique sur les usages réalisés, leurs représentations de l'outil ou des fonctionnalités en développement comme le cahier de textes, le cahier de liaison numérique et le cahier multimédia. Ils ont également été invités à relater, avec la méthode des incidents critiques de Flanagan (1954), des épisodes plutôt difficiles ou plutôt faciles dans l'usage de l'ENT.

3.4. Analyse des entretiens enseignants

Les entretiens ont été enregistrés et retranscrits en intégralité pour être analysés thématiquement. L'unité d'analyse des retranscriptions est la proposition (considérée comme une unité syntaxique élémentaire construite autour d'un verbe). Toutes les propositions ont été identifiées dans chaque phrase comme dans l'exemple suivant : « *Moi je leur ai montré comment faire des dossiers (proposition 1)/, mais c'est difficile pour les élèves (proposition 2)* ». Nous avons également distingué les commentaires plutôt favorables de ceux exprimant plutôt des tensions ou contradictions. Dans l'exemple précédent, la première proposition a été comptée comme remarque favorable (initiative d'accompagnement) et la deuxième comme remarque défavorable (difficulté d'usage). Nous avons fait des dénombrements et des calculs de pourcentage pour hiérarchiser les facteurs. Nous avons considéré que les utilisateurs ont accepté l'ENT lorsqu'ils évoquent les usages réussis qu'ils en font, les ajustements mis en œuvre ou les contradictions rencontrées et surmontées. Aucun thème n'était préétabli, nous n'avons retenu que les thèmes évoqués au moins trois fois.

3.5. Résultats

L'analyse a mis en évidence 4 thèmes principaux (voir tableau 4) et 16 sous-facteurs (voir tableau 5): (1) facteurs liés à la pratique du métier (charge de travail, responsabilisation aux usages numériques, valorisation du travail), (2) facteurs relatifs au suivi pédagogique (pédagogie, sécurité et santé, émotions et attractivité); (3) facteurs relatifs à l'organisation sociale et du travail (collaboration, communication, réorganisation des pratiques de communication), (4) facteurs relatifs à l'usage et au déploiement de l'outil (facilité d'usage, utilité, feedback, équipement informatique et réseau, accompagnement). Nous présentons dans un premier temps les résultats des facteurs principaux, puis ceux des sous-facteurs.

3.5.1. Facteurs principaux.

Le tableau 4 indique que les facteurs liés à l'organisation sociale représentent le plus d'évocations positives (88), ce qui signifie que l'usage de l'ENT a un rôle important dans la communication et la collaboration à l'intérieur du système scolaire. À l'inverse, les facteurs liés au métier d'enseignant et ceux liés à l'usage et au déploiement de l'outil rassemblent le plus d'appréciations négatives. Le déploiement et l'usage de l'ENT semblent donc soulever d'une part, des questions sur la reconnaissance professionnelle et la pratique du métier d'enseignant et, d'autre part, des problèmes en matière d'adéquation aux usages scolaires. Nous présentons dans le paragraphe suivant une analyse par sous-facteurs (voir tableau 5) qui permet de préciser ces dimensions.

Tableau 4 • Occurrence des facteurs principaux.

Facteur	Nb appréciations positives	Nb appréciations négatives
Métier	35 (15,56 %)	90 (36 %)
Suivi pédagogique	54 (24 %)	57 (22,8 %)
Organisation sociale	88 (39,11 %)	14 (5,6 %)
Usage et déploiement de l'outil	48 (21,33 %)	89 (35,6 %)
Total	225 (100 %)	250 (100 %)

Tableau 5 • Occurrence des sous-facteurs.

Sous-facteur	Nb appréciations positives	Nb appréciations négatives
Facteurs relatifs à l'exercice et la pratique du métier.		
Charge de travail	0	72
Responsabilisation aux usages numériques	20	12
Valorisation du travail	15	15
<i>Total</i>	<i>35</i>	<i>90</i>
Facteurs relatifs au suivi des élèves.		
Pédagogie	20	0
Sécurité et santé	4	57
Emotions et attractivité	30	0
<i>Total</i>	<i>54</i>	<i>57</i>
Facteurs relatifs à l'organisation sociale et du travail.		
Collaboration	12	0
Communication	72	8
Réorganisation des pratiques de communication	4	6
<i>Total</i>	<i>88</i>	<i>14</i>
Facteurs relatifs à l'usage et au déploiement de l'outil.		
Facilité d'usage	27	24
Utilité	9	6
Feedback utilisateur	4	39
Équipement informatique et réseau	0	6
Accompagnement	8	14
<i>Total</i>	<i>48</i>	<i>89</i>

3.5.2. Facteurs relatifs à l'exercice et la pratique du métier

Comme on peut le voir dans le tableau 5, la charge de travail perçue (induite par l'usage de l'ENT) apporte le plus d'évocations négatives (72). L'utilisation de ONE demande beaucoup de temps, surtout au début. Ils ont l'impression de devoir investir plus de temps pour maîtriser les fonctionnalités de l'ENT et pour trouver des applications intéressantes pour la classe. Ils ont aussi le sentiment que l'usage d'un ENT implique un travail soutenu et régulier, sur de nouvelles tâches qui ne relèvent pas directement de leur domaine de compétences : comme la prise de photos, les chargements sur l'ordinateur et ensuite sur l'ENT, la publication de billets de blogs, la rédaction de messages, la conception de projets pédagogique incluant l'ENT. Or, puisqu'ils ne disposent pas d'un temps scolaire spécialement dédié aux usages de ces technologies, ils sont alors obligés

**Elena CODREANU, Christine MICHEL,
Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON, Olivier VIGNEAU**

d'utiliser le temps de la pédagogie pour s'approprier ces outils. Le sentiment de charge de travail s'exprime aussi par une impression d'accroissement des sollicitations informationnelles. L'ENT s'ajoute, en effet, aux plateformes éducationnelles préexistantes : adresse mail académique, plateforme de gestion de carrière I-prof, plateforme de formation en ligne, plateformes didactiques, livret de compétences en ligne. Les enseignants se sentent ainsi continuellement submergés par une grande quantité de données à gérer (adresses mail, identifiants et mots de passe différents pour chaque plateforme, logique et fonctions des différents dispositifs,...) mais aussi par des contenus informationnels à traiter et à hiérarchiser (informations académiques, pédagogiques, événements à trier et à diffuser...). Face à la crainte de devoir faire un double travail avec l'ENT, certains refusent par exemple de publier les leçons sur l'ENT, car ils le font déjà avec leurs outils bureautiques « *je fais déjà la leçon sur le paper board, la remettre encore (sur l'ENT)... moi je n'ai pas envie de faire ça...* ».

La responsabilisation des élèves dans leurs usages numériques a été évoquée positivement 20 fois. Les enseignants pensent qu'ils ont un rôle à jouer dans la formation aux « usages responsables des outils numériques par les élèves ». D'autres considèrent en revanche que cette sensibilisation serait davantage du ressort des parents (12 évocations), d'une part parce que cela nuit à leur activité de formation, d'autre part parce que l'outil est massivement consulté à la maison par les enfants pour vérifier notamment leurs nouveaux messages. Pour ces raisons, le contrôle devrait relever davantage de la sphère privée. Ce que ne semblent pas partager les parents qui pensent au contraire que ce suivi doit être assuré par l'établissement qui le met à disposition. On voit ici que l'articulation "école-maison" nécessite une redéfinition des responsabilités et des attributions de chaque partenaire (parents et enseignants de parcours de formation) dans une division du travail mieux coordonnée (de contrôle et de suivi de l'usage).

La valorisation du travail ressort de manière positive au travers de 15 évocations. En fait, certains enseignants considèrent que l'ENT permet de mettre en évidence, via le blog, un travail de classe qui jusque-là était plutôt invisible ; comme les activités sportives, les sorties scolaires, les créations des élèves. Il devient ainsi un outil de reconnaissance du travail de l'enseignant ainsi que des productions des élèves. Mais cette reconnaissance du travail reste limitée par le fait que les parents sont peu impliqués dans le projet ENT et ne consultent que très rarement ces travaux (évocations négatives). Ce manque d'intérêt de la part des parents pour les

informations mises à disposition provoque chez les enseignants une certaine déception voire un désir de ne plus utiliser l'ENT. C'est le cas de cette enseignante de CP qui a informé les parents via le cahier de correspondance de la tenue d'un cahier de vie de la classe sur l'ENT et les a invités à la consultation de ce cahier : *« J'ai un retour d'un parent qui m'a dit "Félicitations, super initiative" mais sinon il y en a qui n'ont pas signé le mot. C'est pour vous dire qu'ils ne sont pas intéressés. C'est un peu désespérant. Je n'ai vu que 3 élèves de la classe qui ont changé leur photo. Donc 3 sur 26 ce n'est quand même pas beaucoup. Si c'est pour qu'il n'y ait personne qui le regarde (le cahier), moi j'arrête de le remplir ».*

3.5.3. Facteurs relatifs au suivi des élèves

Selon les enseignants, l'intérêt principal des ENT vis-à-vis des élèves est d'aider à construire une relation plus attractive et stimulante, qui joue sur les émotions (30 évocations positives dans le tableau 4). L'ENT est motivant pour les élèves et fait apprécier le travail en classe. En matière de pédagogie, l'ENT est considéré comme un apport (20 évocations positives) pour la construction de l'expression verbale et de la communication des élèves ainsi que pour la responsabilisation et l'autonomie dans le travail avec ordinateur. Le blog est renseigné par les enseignants ou les élèves eux-mêmes. L'ENT est utilisé pour la réalisation des tâches pédagogiques, comme la publication des leçons, des vidéos éducatives, des textes rédigés par les élèves. Ces publications pédagogiques concernent toutes les matières : français, anglais, mathématiques, arts, sciences.

Les enseignants expriment en revanche de nombreuses craintes concernant la sécurité et la santé des enfants (57 évocations négatives contre 4 positives). En particulier, cela concerne les dérives (harcèlement, insultes) ou les détournements des outils de communication et de coordination. Les enseignants ont en effet un accès limité aux comptes des enfants et ils sont donc dans l'impossibilité de contrôler le contenu des messages échangés. Plusieurs enseignants ont alors créé un compte-élève fictif pour suivre et contrôler les échanges. Cela leur permet aussi de vérifier la qualité d'affichage des informations et des documents qu'ils publient sur l'ENT. On remarque que les enseignants, qui n'ont pas été en mesure de créer ce type d'usage innovant, sont moins satisfaits du dispositif. Ce type de détournement met en évidence l'intérêt de proposer aux enseignants des fonctions de surveillance des espaces et de vérification des publications. Une autre crainte concerne les transgressions d'usage de l'ENT par les enfants. Les enseignants déclarent notamment

avoir des difficultés à authentifier les sources d'informations en provenance du système, comme cet exemple le montre « *moi j'ai reçu un message d'un parent, je ne sais pas si c'est le parent ou si c'est le grand frère qui a envoyé le message.../... du coup il faut que je repasse par le cahier de textes pour écrire un mot.../... sur le cahier de liaison il y a l'écriture, la signature, on connaît tout de suite rapidement la différence* ».

3.5.4. Facteurs relatifs à l'organisation sociale et du travail

L'ENT est particulièrement apprécié pour soutenir la communication avec les parents (72 appréciations positives). Certains enseignants créent des blogs et y font référence dans le cahier de liaison lorsqu'il y a de nouvelles informations à consulter. Les enseignants apprécient aussi le rôle positif que l'ENT joue sur la collaboration avec les autres enseignants (12 évocations). Le partage des ressources créées facilite l'organisation des activités ou des sorties en commun, ainsi que le travail pédagogique.

Les appréciations négatives (8) concernent surtout la communication *via* la messagerie qui ne distingue plus les temps scolaires et extra-scolaire. Ils évoquent l'intérêt de pouvoir paramétrer les horaires de transmission des messages des parents (pas de messages pendant le temps scolaire) ou entre les élèves. Vis-à-vis des parents, cela permettrait de limiter les messages intempestifs et de dernières minutes qui requièrent un travail supplémentaire durant le temps scolaire. Ils ont plus de contrôle par le cahier de liaison. Ces mesures peuvent être utiles au départ pour rassurer les enseignants et pour leur laisser le temps de mettre en place des actions de responsabilisation des élèves et des parents aux usages numériques.

3.5.5. Facteurs relatifs à l'usage et au déploiement de l'outil

Les enseignants ressentent une facilité d'usage (27 évocations positives) liée à la cohérence des fonctions et informations accessibles par le menu et les icônes. Les évocations négatives (24) portent sur des fonctionnalités de l'Espace Documentaire de l'ENT : ils souhaitent un partage de dossiers plutôt que le partage de fichiers « *les enfants reçoivent... [les fichiers] comme ça. Pour eux c'est pas facile, on a Documents Partagés et tout est mélangé; musique, histoire. Si le nom du fichier il est un peu approximatif... ils savent pas* » et regrettent le manque de visibilité sur qui a consulté les contenus publiés et qui s'est connecté. En suivant le fil de nouveautés, les enseignants arrivent à connaître l'activité des autres utilisateurs (parents, élèves) si ces derniers modifient par exemple leur avatar

ou la devise qui l'accompagne. Mais cet usage détourné de la consultation du fil ne marche pas pour les consultations simples, car elles ne laissent pas de trace. *« Ça c'est vrai que... s'ils ne changent pas leur humeur ou la devise, on ne le sait pas s'ils se sont connectés ou pas. Ça serait intéressant pour nous les utilisateurs de savoir qui a vu le contenu »*. Pour obtenir ces données, les enseignants font alors un travail supplémentaire qui consiste à envoyer un questionnaire via le cahier de correspondance, ou alors, ils demandent aux élèves si leurs parents se connectent. Cette traçabilité est importante pour construire une forme d'échange entre les différents partenaires du parcours de formation, afin de s'assurer que les informations publiées sont bien consultées et parviennent au destinataire. Sinon, il est difficile pour les enseignants de juger de l'utilité et de l'efficacité du système pour leur activité.

Le manque d'infrastructure informatique (matériels, réseau...) est par ailleurs considéré aussi comme un frein à l'acceptation de l'ENT (6 évocations). Les enseignants aimeraient utiliser l'ENT en classe avec les élèves mais ils manquent d'ordinateurs portables ou de tablettes. *« Il faudrait pratiquement avoir des ordinateurs en permanence dans les classes pour pouvoir vraiment l'utiliser dans la pédagogie de tous les jours »*. En effet, l'équipement technique des écoles est assuré par les communes qui choisissent d'investir ou non, ce qui peut créer des grandes inégalités entre les territoires. Comme les ENT sont des projets coordonnés par l'état et le Ministère de l'Éducation, cela peut créer des discordances sur le terrain qui peuvent éventuellement freiner les usages en classe. L'accès à l'ENT n'est pas équivalent non plus dans toutes les familles. Certaines offrent un accès continu à certains élèves et d'autres un accès restreint défini par les parents ou l'absence de connexion Internet. Enfin, les enseignants évoquent des manques d'accompagnement. Ils se considèrent mal formés aux usages de l'ENT. S'agissant d'une phase expérimentale d'implémentation, tous les moyens pour accompagner les enseignants n'ont pas été employés. Rappelons que dans chaque école un référent ENT a été désigné et a pu bénéficier de la formation. Il formait ensuite ses collègues. Ce fonctionnement a pu causer des difficultés en termes de transmission des compétences ou de réponses appropriées à toutes les problématiques soulevées par les collègues. À long terme, les responsables académiques devraient s'impliquer dans la formation et l'accompagnement de tous les enseignants. Sur ces aspects, des études supplémentaires seraient donc nécessaires pour comprendre comment s'opère la phase de généralisation des ENT dans les écoles primaires.

3.6. Bilan sur l'acceptation

L'étude de l'acceptation montre que les principales tensions sont liées à l'exercice et la pratique du métier, notamment la surcharge de travail, l'insuffisante connaissance des responsabilités et le problème de sécurité des élèves sur un espace de travail en ligne. Les facteurs relatifs à l'usage de l'outil posent aussi problème, par manque d'infrastructure, à la fois dans les écoles et dans l'espace domestique. Il nous semble nécessaire de renforcer l'accompagnement fait par les académies ainsi que la communication autour du numérique menée par le Ministère de l'Éducation. Le Schéma directeur des Espaces Numériques (Ministère de l'Éducation Nationale, 2012), document officiel des ENT, définit les rôles et les responsabilités de chaque futur utilisateur des ENT. Malheureusement, ce document est adressé surtout aux concepteurs et demeure peu lisible par le grand public qui ne possède pas ou peu de connaissances techniques sur ces plateformes numériques. Ces documentations devraient être vulgarisées pour être davantage accessibles aux enseignants, élèves et parents.

Les facteurs positifs de l'acceptation sont principalement ceux relatifs à l'organisation sociale, car l'ENT favorise la collaboration au sein de l'école (à travers le partage des contenus) et la communication avec les familles. De plus, l'ENT permet la valorisation du travail effectué en classe avec les élèves (textes rédigés, dessins, activités créatives) auprès des familles. Ce facteur positif est en quelque sorte atténué par la faible implication des parents. Cela veut dire que les enseignants peuvent trouver utile de passer par l'ENT pour informer les parents de la vie de l'école, cela ne signifie pas pour autant que les parents consultent vraiment les publications des enseignants. La faible implication des parents, déplorée par les enseignants de notre étude, est cohérente avec les problèmes du système d'enseignement actuel. En effet, même avant l'arrivée des ENT (qui sont supposés faciliter l'ouverture de l'école vers les familles), la communication entre l'école et les familles reste difficile et insuffisante (Bruillard, 2011). Les parents peuvent opposer une véritable résistance à la collaboration avec les enseignants, lorsqu'ils se voient nier leurs compétences parentales et reçoivent des messages « moralisateurs » à propos de leurs pratiques familiales, comme l'heure du coucher et l'alimentation (Monceau, 2009). Les parents se méfient donc du contact avec l'institution scolaire et évitent ainsi d'être enrôlés dans des activités collectives ou défendent tout simplement la séparation entre l'école et les familles justifiée par l'idée de « chacun sa place ». Ces problèmes sont plus fréquents dans les milieux sociaux défavorisés et rendent par conséquent

la communication plus difficile. L'utilisation d'une technologie de type ENT ne peut pas résoudre ces problèmes préexistants dans le système d'enseignement. Nous recommandons d'encourager le dialogue entre parents et école, de manière à pouvoir poursuivre ces échanges par la suite avec des technologies telles que les ENT.

4. Discussion et conclusion

Les objectifs de l'article étaient de comprendre comment les enseignants du primaire s'approprient les ENT et quel est leur niveau d'acceptation de ce type d'outil. Pour y répondre nous avons réalisé deux études centrées sur l'utilisation de l'ENT ONE. La première avait pour objectif d'analyser les publications faites sur l'ENT afin de caractériser les différentes activités réalisées avec ONE. La seconde avait pour objectif d'identifier les facteurs de l'acceptation et/ou du refus de ce type de technologie.

Les résultats de la première étude ont mis en évidence 5 types de publications : communicationnelles internes, communicationnelles externes, pédagogiques individuelles, pédagogiques collaboratives et loisirs. Les publications communicationnelles sont prédominantes et consistent en des articles sur le blog et le cahier multimédia avec des photos et résumés des activités réalisées. Cela montre la volonté des enseignants du primaire d'associer les familles à la vie de l'école et donc la volonté « d'ouvrir l'école ». Les publications de type pédagogique arrivent en deuxième plan et sont présentes surtout au cycle 3 : CM1 et CM2. Elles correspondent à des leçons, textes rédigés par les élèves, exercices, vidéos éducatives, etc. L'étude a montré que l'appropriation était plutôt favorable car les utilisateurs avaient la possibilité d'imaginer de nouveaux usages et de les expérimenter. La facilité d'utilisation de ONE et son adéquation au public d'utilisateurs cibles sont les facteurs les plus explicatifs de ce constat.

La seconde étude a mis en évidence la présence des facteurs favorables à l'acceptation, en particulier la possibilité de travailler en collaboration et de communiquer facilement avec les familles. L'étude a aussi mis en évidence la présence de tensions liées à l'exercice et à la pratique du métier, notamment la surcharge de travail, l'augmentation des responsabilités professionnelles liées à l'extension de l'« espace-temps scolaire » et la faible implication des parents. Nous avons proposé différentes recommandations pour favoriser l'acceptation des ENT comme de produire un meilleur accompagnement au niveau local et une meilleure communi-

tion au niveau ministériel sur les responsabilités de chaque utilisateur de l'ENT.

Les résultats de la première étude convergent avec ceux issus de la seconde. Nous avons constaté, à travers l'analyse des publications et des entretiens, la volonté des enseignants d'ouvrir l'école aux parents d'élèves, de communiquer des informations concernant la vie de l'école sur l'ENT. Les publications dans les cycles 1 et 2 sont majoritairement de type communicationnel. Ces résultats sont intéressants car ils semblent contredire les études qui affirment une non-intégration de la part des enseignants des pratiques communicationnelles à destination des familles (Bruillard, 2011 ; IGEN, 2006). Nous devons cependant noter que les contextes d'enseignement secondaire et primaire sont différents en ce qui concerne la relation avec les parents : dans l'enseignement primaire la relation avec les parents a une plus grande importance étant donné l'âge des enfants. La particularité de l'enseignant unique rend aussi cette relation plus facile et plus proche. Compte tenu de ces aspects de proximité avec les familles, l'acceptation de l'outil ONE se base beaucoup sur la communication école-familles.

En revanche, cette démarche d'ouverture ne semble pas être suivie par les parents. Les enseignants déplorent leur faible implication. Ceux-ci ne consulteraient pas du tout ou pas suffisamment les informations qui sont mises à leur disposition sur l'ENT. Notre étude ne propose malheureusement pas de recueil des opinions des parents, ni de bilan quantifié de leurs connexions ; cet axe serait intéressant dans le cadre d'une future recherche. Ces résultats permettraient d'affiner le point de vue des enseignants qui s'appuie pour l'instant uniquement sur les retours oraux des parents ou la visualisation de modifications qu'ils ont pu faire (comme l'ajout de photo sur le profil d'un élève de maternelle ou de CP). En réalité, beaucoup de parents peuvent consulter l'ENT sans laisser de « trace » visible, pouvant donner l'impression de non-implication. L'ajout d'indicateurs visibles de l'activité de consultation de l'ENT est donc fondamental pour montrer l'intérêt des parents et motiver les enseignants à poursuivre leurs usages. Ces fonctionnalités ont été intégrées dans la conception de ONE et vont être proposées. Un nouveau service intitulé « Statistiques » permettra aux enseignants de consulter la fréquentation de l'ENT par les autres utilisateurs (élèves, parents). Nous confronterons les observations factuelles d'usage des parents et leurs points de vue avec ceux des enseignants pour analyser plus finement cette question de l'engagement des parents lors d'une prochaine étude.

Cela nous permettra en particulier de savoir si la perception des enseignants est fondée ou pas.

Les tensions relevées à propos des élèves et leur utilisation de l'ENT sont liées au manque d'infrastructure de l'école, à la question de la sécurité des élèves et à la question de la responsabilité du contenu publié par les élèves. Les tensions relevées ne semblent pas décourager les pratiques autour de l'ENT et donc l'appropriation de cet outil. La qualité de conception de la plateforme joue ici un rôle fort. On observe en effet dans les essais concrets d'appropriation de l'ENT, des actions menées afin de contrecarrer justement certaines tensions, comme la surcharge du travail et le manque d'infrastructure. Ces actions concernent l'encouragement du travail collaboratif qui peut permettre aux élèves de s'entraider et de se transmettre aussi les connaissances liées à l'utilisation de l'ENT ONE. Les projets collaboratifs permettent également de travailler à plusieurs sur un ordinateur et sont un moyen de pallier le manque d'infrastructure. Concernant la sécurité des élèves, les enseignants montrent qu'ils savent contourner cette problématique: ils créent des comptes élèves pour pouvoir contrôler les messages envoyés par les élèves ou font des cours spécifiques dédiés à la sensibilisation aux usages de l'ENT et d'Internet dans lequel ils essaient de responsabiliser les élèves vis-à-vis de leur utilisation. L'analyse des publications nous montre que les élèves s'approprient réellement l'ENT à partir du CMI. C'est le moment où ils deviennent utilisateurs actifs de l'ENT, capables de publier leur propre contenu. Un résultat intéressant est le fait que les élèves publient des contenus de tous types: pédagogiques (individuels ou collaboratifs), communicationnels (relatifs aux sorties scolaires ou activités internes) ou de loisirs. Ces publications ont un rôle «pédagogique» pour les enseignants dans la mesure où ils travaillent en même temps l'écriture, l'expression ou la grammaire. Elles les font «grandir» aussi puisqu'ils réalisent ainsi une partie des tâches communicationnelles dévolues précédemment aux enseignants. Elles les valorisent et les motivent puisque leurs rédactions, dessins ou poésies sont rendues accessibles à tous les parents d'élèves, à la classe et aux autres classes de l'école.

De manière générale, les enseignants sont les principaux initiateurs des usages. Ce sont eux qui distribuent les identifiants de connexion aux élèves et/ou parents, ce sont eux qui décident à qui ils vont ouvrir un service et à quelle activité servira tel ou tel blog ou cahier. Comme nous l'avons vu, l'appropriation consiste en un ensemble d'essais et expérimentations différentes qui mènent finalement à des usages pérennes et

stables. On peut dire que c'est à travers les expérimentations répétées des activités sur l'ENT que se révèlent des situations critiques et des questionnements, des craintes et des tensions. Finalement, les enseignants peuvent expérimenter les services de l'ENT et sélectionner ceux qui conviennent au mieux à leurs exigences.

Cette étude comporte certaines limites. Le faible nombre d'utilisateurs peut poser des questions en termes de généralisation de nos résultats. Cet échantillon réduit (26 enseignants) est dû au fait que l'étude s'est déroulée pendant la phase d'expérimentation du projet ONE, phase qui a visé uniquement 12 écoles. Une ou deux classes ont généralement utilisé l'ENT par école. Notre étude est de plus assez circonscrite à une technologie spécifique au territoire français. Elle n'est pas forcément généralisable aux Virtual Learning Environments (VLE) proposés dans les pays anglosaxons. Ces systèmes ont été construits principalement comme des outils pédagogiques, sur lesquels ont été ajoutés des modules administratifs (pour la gestion de notes et absences par exemple). En France, les ENT ont été conçus depuis le début pour répondre aux deux objectifs : de gestion (de la vie scolaire) et de pédagogie. Elle s'articule avec d'autres systèmes d'information nationaux² comportant en particulier des informations sur les utilisateurs (conformes aux règles de la CNIL) pour créer les comptes personnels, ou les classes des établissements pour créer des groupes automatiques dans l'ENT. Ces choix techniques présupposent une collaboration entre les écoles et l'État, ce dernier étant le prescripteur de l'ENT. Ces particularités contextuelles influencent et modulent l'acceptation et l'appropriation de l'outil par les utilisateurs. Par conséquent, les résultats de cette étude ne peuvent pas être généralisés à toutes les technologies éducationnelles, mais restent circonscrits au contexte précis des ENT français. C'est pourquoi notre approche se veut plutôt exploratoire et qualitative. Elle vise à décrire la construction de l'appropriation et de l'acceptation d'une technologie.

En conclusion, si l'acceptation et l'appropriation de l'ENT ONE sont plutôt positives c'est parce qu'il est bien conçu et plutôt bien adapté aux pratiques des enseignants. L'appropriation se fait de manière équivalente sur la base de communication avec les familles et par les activités de nature pédagogique. Notre étude est plutôt encourageante et elle évalue pour la première fois les activités concrètes faites autour d'un ENT d'écoles primaires. Les problèmes principaux restent néanmoins liés aux modalités de sa mise en œuvre. Les recommandations que nous formulons sont orientées vers le ministère et les directeurs d'école. Ces

acteurs sont invités à apporter des précisions sur les limites de l'espace-temps scolaire et sur les règles de gouvernance et de communication les plus adaptées pour ces plateformes lorsque de très jeunes enfants, n'ayant pas de compétences en termes d'usages sociaux du numérique, sont concernés.

NOTES

- 1 Les animateurs TICE sont des enseignants qui ont pour mission le développement de l'utilisation de TICE (Technologies d'Information et de Communication pour l'Éducation) dans leurs circonscriptions. Ils sont sous la responsabilité des IEN et peuvent exercer à temps plein ou partiel.
- 2 Le processus d'alimentation automatique de l'ENT est un processus défini par le Ministère de l'Éducation et correspond à la création des comptes ENT automatiques pour tous les futurs utilisateurs de l'ENT (enseignants, élèves, parents) d'un certain établissement. Cette alimentation se fait à partir des plateformes de gestion des enseignants (par exemples STS) et de gestion des élèves (Siècle -Système d'information pour les élèves en collèges et lycées et pour les établissements- dans les collèges et lycées et Base Elèves dans le primaire).

BIBLIOGRAPHIE

- ALTER, N. (2000). *L'innovation ordinaire*. Paris : Presses universitaires de France.
- BARDIN, L. (1996). *L'analyse de contenu*. Paris : Presses universitaires de France.
- BERNOUX, P. (2004). Le changement dans les organisations. Entre structures et interactions. *Relations industrielles*, 57, 77-99.
- BOBILLIER-CHAUMON, M.E. (2016). Acceptation située des TIC dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 22(1), 4-21.
- BRANGIER, E., DUFRESNE, A. et HAMMES-ADELE, S. (2009). Approche symbiotique de la relation humain-technologie : perspectives pour l'ergonomie informatique. *Le travail Humain*, (72)4, 333-353.
- BRUILLARD, É. (2011) Le déploiement des ENT dans l'enseignement secondaire : entre acteurs multiples, dénis et illusions. *Revue française de pédagogie*, 177, 101-130.
- BRUILLARD, É. et HOURBETTE, D. (2008). Environnements Numériques de Travail, un modèle bureaucratique à modifier. *ARGOs*, 44, 29-34.
- BUDIU, R. et NIELSEN, J. (2010). *Children (Ages 3-12) on the Web* (2nd éd.). Fremont : Nielsen Norman Group
- CODE DE L'ÉDUCATION (2016). Chapitre III L'information et l'orientation. Article L313-2.

**Elena CODREANU, Christine MICHEL,
Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON, Olivier VIGNEAU**

DAVIS, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13, 319-340.

ENGESTRÖM, Y., MIETTINEN, R. et PUNAMAKI, R.L. (1999). *Perspectives on Activity Theory*. Cambridge : Cambridge University Press.

FLANAGAN, J.C. (1954). The Critical Incident Technique. *Psychological Bulletin*, 51, 327-358.

IGEN, (2006). L'extension de l'École vers l'espace familial. Rapport annuel des inspections générales de l'Éducation Nationale. Récupéré de <http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/064000846/0000.pdf>

JONSSON, L.E. (2007). *Appropriating Technologies in Educational Practices* (thèse de doctorat, Université de Goteburg, Suède). Récupéré de <http://hdl.handle.net/2077/10515>.

KARASAVVIDIS, I. (2009). Activity theory as a conceptual framework for understanding teachers' approaches to Information and Communication Technologies. *Computers and Education*, 53(2), 436-444.

LOUESSARD, B. et COTTIER, P. (2015). Pratiques familiales d'un ENT au collège. Etude des effets établissement, classe et enseignant et de leurs influences sur les pratiques en construction. Dans L. Collet et C. Wilhem (dir.), *Numérique, éducation et apprentissage. Enjeux communicationnels* (p. 145-156). Paris : l'Harmattan,

LUEDER, R. et RICE, V. J. (2007). *Ergonomics for Children: Designing Products and Places for Toddlers to Teens*. New York : Taylor & Francis.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2012). Schéma Directeur des Espaces Numériques de Travail. Récupéré de http://cache.media.eduscol.education.fr/file/sdet/61/1/SDET-v4.0_226611.pdf

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2013). Code de l'éducation, Art. D 311-10. Récupéré de http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=73449

MISSONIER, S. (2008). Analyse réticulaire de projets de mise en œuvre d'une technologie de l'information : le cas des espaces numériques de travail (thèse de doctorat, Université Sophia Antipolis, Nice). Récupéré de https://www.cairn.info/load_pdf.php?ID_ARTICLE=SIM_084_0126

MONCEAU, G. (2009). L'usage du concept de résistance pour analyser la coopération des parents d'élèves avec les enseignants dans l'institution scolaire. *Nouvelle revue de psychosociologie*, 1(7), 151-165.

ORLIKOVSKI, W. J. (1992). The duality of Technology: Rethinking the concept of technology in organizations. *Organization Science*, 3(3), 398-427.

POYET, F. et GENEVOIS, S. (2010). Intégration des ENT dans les pratiques enseignantes : entre ruptures et continuités. Dans J.-L. Rinaudo et F. Poyet, (dir.) *Environnements numériques en milieu scolaire. Quels usages et quelles pratiques ?* (p. 23-46). Lyon : INRP, Collection Technologies nouvelles et éducation.

PRIEUR, M. et STECK, P. (2011). L'ENT : un levier de transformation des pratiques pédagogiques pour accompagner les apprentissages du socle commun, Colloque International INRP, 2011, *Le travail enseignant au XXIe siècle. Perspectives croisées : didactiques et didactiques professionnelles*.

PUIMATTO, G. (2009). Environnements Numériques de Travail. Retour vers une approche fonctionnelle. In *Environnements numériques en milieu scolaire. Quels*

usages et quelles pratiques ? Dans J-L Rinaudo et F. Poyet (dir.) *Environnements numériques en milieu scolaire. Quels usages et quelles pratiques ?* (p. 189-211). Lyon : INRP, Collection Technologies nouvelles et éducation

RABARDEL, P. (1995). *Les hommes et les technologies*. Paris : Armand Colin

ROGOFF, B. (1995). Observing socio-cultural activity on three planes: participatory appropriation, guided participation, and apprenticeship. Dans J.V. Wertsch, P. del Rio et A. Alvarez (dir.), *Sociocultural studies of mind* (p. 139-164). Cambridge, UK. Cabridge University Press.

SCHNEWELE, M. (2012). *Implantation d'un ENT dans l'enseignement secondaire, analyse et modélisation des usages : le cas lorrain* (thèse de doctorat. Université de Lorraine, Nancy).

TRICOT, A., PLÉGAT-SOUTJIS, F., CAMPS, J. F., AMIEL, A., LUTZ, G. et MORCILLO, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Strasbourg.

VOULGRE, E. (2011). *Une approche systémique des TICE dans le système scolaire français : entre finalités prescrites, ressources et usages par les enseignants* (thèse de doctorat, Université de Rouen, Rouen). Récupéré de : http://shs-app.univ-rouen.fr/civiic/memoires_theses/textes/these_VOULGRE.pdf

WARZEE, A., LE GOFF, F., MANDON, G. et SOUCHET, C. (2006). *La place et le rôle des parents dans l'école* (rapport au ministre de l'Éducation Nationale et de la Recherche). Récupéré de <http://www.education.gouv.fr>

WERTSCH, J.V. (1998). *Mind as action*. Oxford : Oxford University Press.



Les effets d'une ludification adaptative sur l'engagement des apprenants

► **Baptiste MONTERRAT** (LIRIS, INSA de Lyon),
Élise LAVOUÉ (LIRIS, Université Jean Moulin Lyon3),
Sébastien GEORGE (LIUM, Le Mans Université),
Michel DESMARAIS (École polytechnique de Montréal)

■ **RÉSUMÉ** • La ludification est une approche de plus en plus utilisée pour répondre au manque de motivation des apprenants. Cependant, chacun a des sensibilités différentes aux mécaniques de jeu, et cela n'est généralement pas pris en compte. Cet article présente un modèle pour adapter les fonctionnalités ludiques selon les profils de joueur des apprenants. Une évaluation de ce modèle a montré que l'utilisation de fonctionnalités ludiques adaptées rend les apprenants plus engagés, tandis que l'utilisation de fonctionnalités ludiques contre-adaptées diminue leur motivation.

■ **MOTS-CLÉS** • Ludification, adaptation, motivation, profils de joueurs.

■ **ABSTRACT** • *Gamification is increasingly used to address the lack of learner motivation. However, gamification systems generally do not consider learner's preferences for game mechanics. This paper presents a model to adapt the gamification features to the learners according to their player profile. An evaluation of this model shows that adapted game features increase learner engagement, while counter-adapted game features decrease their motivation.*

■ **KEYWORDS** • *Gamification, adaptation, motivation, player profile.*

1. Introduction

Les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) deviennent de plus en plus efficaces, en particulier grâce au développement des tuteurs intelligents qui prennent en compte l'état des connaissances de l'apprenant (Aleven *et al.*, 2015 ; Craig *et al.*, 2013 ; Desmarais et Baker, 2012). Cependant, ces technologies ne rendent pas nécessairement les EIAH plus motivants. Une solution pour y remédier est de proposer des activités d'apprentissage plus ludiques, soit en concevant des jeux sérieux, soit en ludifiant des EIAH existants. Le terme jeu sérieux (*serious game*) se rapporte à l'utilisation d'un jeu pour l'apprentissage (Premsky, 2001) tandis que la ludification s'appuie sur l'utilisation d'éléments de jeu dans un contexte non ludique (Deterding *et al.*, 2011).

Dans cet article nous nous intéressons au problème du manque de motivation dans le contexte d'un environnement d'apprentissage en ligne dans lequel l'apprenant est entièrement guidé par le système. Dans ce type d'environnement, l'absence d'un tuteur humain est souvent facteur d'un manque d'intérêt pour l'apprenant.

1.1. Ludification et apprentissage

Notre proposition porte sur l'intégration et l'adaptation de mécaniques de jeu à des environnements d'apprentissage existants. Pour cela, nous choisissons l'approche par ludification plutôt que le jeu sérieux : il est beaucoup moins complexe d'ajouter des fonctionnalités ludiques à un système d'apprentissage que de transformer le cœur de l'activité pour en faire un jeu.

Le terme de « *gamification* » a été introduit au début des années 2010. Cette approche est appliquée dans des domaines aussi variés que le marketing (Huotari et Hamari, 2012), la santé (Wilson et McDonagh, 2014), ou encore le crowdsourcing (Venhuizen *et al.*, 2013). Nous nous intéressons ici à son utilisation dans le domaine de l'éducation (Kapp, 2012). Le jeu a toujours fait partie de l'apprentissage, mais l'arrivée de la ludification a apporté de grands changements dans la manière dont il est étudié. Certains présentent la ludification comme une nouvelle théorie éducative (Bíró, 2014), aux côtés du behaviorisme, du cognitivisme, du constructivisme et du connectivisme. Sans aller jusqu'à parler d'une nouvelle théorie, nous pensons que la ludification peut être un levier puissant dans le domaine éducatif.

Dans cet article, nous présentons une implémentation réalisée dans un environnement dédié à la mémorisation de règles de grammaire. La mémorisation étant souvent basée sur la répétition, elle est parfois perçue comme une tâche ennuyeuse pour laquelle la motivation peut faire défaut. C'est pourquoi l'approche ludique peut être particulièrement utile dans le contexte de la mémorisation. Au-delà du risque d'abandon, un gain en motivation amène généralement l'apprenant à mettre en place de meilleures stratégies mentales de mémorisation (Fenouillet et Tomeh, 1998).

La ludification doit cependant être utilisée avec précaution, et toujours mise en relation avec l'apprentissage (Szilas et Sutter Widmer, 2009). Dans le cas contraire, appliquer de façon systématique les principes de la ludification peut aboutir à la création d'une application vide de sens (Bonenfant et Genvo, 2014), ou générer des comportements inattendus des utilisateurs (Callan *et al.*, 2015).

1.2. Besoin d'adaptation

La ludification a déjà montré son efficacité à de nombreuses reprises comme le montre la revue de la littérature présentée dans Hamari *et al.* (2014), et l'on peut se demander si une forme de ludification adaptée pourrait bonifier davantage son impact (Vassileva, 2012). Dans les systèmes faisant intervenir des éléments de ludification, c'est actuellement l'approche « *one size fits all* » qui domine. Il est reconnu depuis longtemps que l'apprentissage personnalisé est plus efficace que d'enseigner de la même manière à tous (Bloom, 1984). Nous pensons qu'il en va de même avec la ludification : une manière de ludifier ne conviendra pas à tous les apprenants. L'adaptation se développe dans les EIAH depuis les années 80, en particulier avec les tuteurs intelligents basés sur des modèles d'apprenants. L'adaptation des jeux et les modèles de joueurs sont plus récents.

La question de recherche étudiée dans cet article est la suivante : comment adapter les éléments ludiques d'un environnement d'apprentissage à un apprenant selon son profil de joueur ? Nous avons conduit une première étude exploratoire qui a montré le potentiel de la ludification adaptative (Monterrat *et al.*, 2017). La méthode d'adaptation que nous proposons dans cet article est basée sur ces premiers résultats. Un état de l'art des techniques de ludification et des modèles de joueurs pour l'adaptation est présenté dans la section 2. Il sert de base à la construction d'un modèle de ludification adaptative que nous exposons dans la

section 3. La section 4 présente une expérimentation destinée à étudier l'impact d'ajout de fonctionnalités adaptées et contre-adaptées à un environnement d'apprentissage en ligne utilisé en situation écologique par plusieurs centaines d'utilisateurs. La section 5 est consacrée à la discussion sur notre approche et sur les résultats de l'expérimentation.

2. État de l'art

Dans cette section, nous proposons d'abord une étude des éléments de ludification courants dans la littérature. Ensuite nous passons en revue les profils de joueurs identifiés dans différents travaux sur les jeux et la ludification. Enfin, nous étudions diverses techniques d'adaptation et modèles visant à lier les éléments de ludification aux profils de joueurs.

2.1. Éléments de ludification

La ludification repose habituellement sur l'intégration de mécaniques de jeu dans des environnements existants. (Vassileva, 2012) propose une revue de la littérature sur les mécaniques de jeu qui peuvent être utilisées pour développer des environnements numériques ludifiés. Il en ressort un inventaire de mécaniques : les récompenses (points, jetons, badges), les réalisations (représentation d'une récompense physique ou virtuelle), les statuts (classement ou niveau d'un joueur), l'esprit communautaire (collaboration) et les quêtes (des défis compétitifs ou contre la montre). Kapp (2012) a également listé différents éléments de jeu typiques comme les buts, les règles, la compétition, la coopération, le temps, les récompenses, les niveaux, les *feedbacks*, la narration, etc. Plus récemment, Robinson et Bellotti (2013) ont proposé une taxonomie des éléments de ludification qui peuvent être un objectif, une fonctionnalité sociale, une incitation ou encore une ressource. Plus globalement, en étudiant la littérature sur le sujet, nous pouvons observer que de nombreux concepts ne sont pas toujours dissociables, par exemple les mécaniques de jeux, les règles et les ressources.

Afin de proposer une approche pour une adaptation générique des éléments de jeu, nous nous sommes intéressés à des travaux décrivant différents niveaux d'abstraction de la ludification (Deterding *et al.*, 2011) proposent ainsi 5 niveaux d'abstraction, des plus abstraits aux plus concrets. Les méthodes de conception issues des jeux viennent en premier. Ensuite viennent les modèles de jeu tels que les boucles d'engagement et de feedback. Les principes de design, comme le fait de fixer des objectifs clairs et de proposer des interactions variées,

constituent le troisième niveau. L'un des principes les plus populaires repose sur l'équilibre entre la difficulté (challenge) et le niveau de compétences de l'utilisateur, en vue d'atteindre l'état de flow (Csikszentmihalyi, 1998). Au quatrième niveau se trouvent les mécaniques de jeu telles que l'utilisation de contraintes de temps, ou de ressources limitées. Enfin des éléments d'interface concrets découlent de ces mécaniques, parmi lesquels :

- les compteurs de points,
- les badges (trophée symbolisant l'accomplissement d'une tâche),
- les tableaux de score.

Ces éléments communs reposent tous sur une quantification de l'activité de l'utilisateur dans le but de lui offrir une récompense. Dans cet article nous utilisons le terme « fonctionnalité ludique » pour référer à une mécanique de jeu qui prend la forme d'un ou plusieurs éléments d'interface. Par exemple, un compteur de points récompense l'utilisateur par des badges quand il atteint un score donné.

2.2. Modèles de joueur

Les modèles de personnalités de joueurs sont relativement nombreux. La classification de Bartle (1996) est l'une des plus connues avec quatre types de joueurs (*killer, explorer, achiever, socializer*). Par ailleurs, Yee (2006) a identifié trois composants principaux de la motivation : accomplissement, social et immersion. On note cependant que ces typologies de joueurs sont issues de travaux spécifiques aux jeux de rôles multijoueurs, et que rien ne garantit qu'ils soient applicables au contexte de la ludification. D'après un état de l'art des précédents modèles de joueurs, Ferro, Walz et Greuter (2013) ont conçu un nouveau modèle fondé sur cinq types de joueurs : dominant, objectiviste, humaniste, curieux et créatif. Ils ont relié leurs types de joueurs directement à des mécaniques de jeu. L'une des classifications les plus récentes est la classification BrainHex (Nacke *et al.*, 2014), qui a été définie d'après des études neurologiques et comporte sept types de joueurs :

- le « *Seeker* » aime la découverte et l'exploration,
- le « *Survivor* » aime avoir peur et devoir fuir,
- le « *Daredevil* » aime le risque et réussir de justesse,
- le « *Mastermind* » aime résoudre des énigmes et établir des stratégies,
- le « *Conqueror* » aime vaincre des adversaires puissants,
- le « *Socializer* » aime interagir avec d'autres joueurs,
- l' « *Achiever* » aime accomplir des tâches.

Contrairement aux classifications précédentes, Brainhex n'est pas liée à un genre vidéoludique particulier. De plus elle est accompagnée d'un questionnaire de classification des utilisateurs qui a déjà été utilisé plus de 60 000 fois. C'est pourquoi nous utilisons cette classification comme base de notre modèle de joueur.

2.3. Adaptation des jeux et de la ludification

2.3.1. Adaptation dans les jeux

Hocine, Gouaïche, Di Loreto et Abrouk (2011) ont dressé un état de l'art des techniques d'adaptation des jeux. Parmi les 16 techniques d'adaptation présentées, une majorité adapte le niveau de difficulté de différentes manières : en changeant le comportement de l'adversaire, la vitesse du jeu ou le scénario. Les autres travaux proposent d'ajuster certains paramètres du jeu, ou encore les aspects pédagogiques (Marne *et al.*, 2013), mais ne proposent pas la modification des mécaniques de jeu.

Nous avons trouvé trois études qui adaptent réellement la dynamique d'un jeu. Dans Thue *et al.* (2007), les auteurs ont travaillé sur la narration adaptative. Leur système adapte les événements qui arrivent dans le jeu et modifient donc le « gameplay ». Dans Göbel *et al.* (2010), le système adapte les scènes d'un jeu sérieux pour convenir aux préférences utilisateurs. La troisième étude (Natkin *et al.*, 2007) présente une réelle modification des mécaniques de jeu en fonction de la personnalité du joueur. Le système propose aux utilisateurs différentes quêtes en fonction de leur profil personnel. Leur profil est basé sur le modèle FFM (*Five Factor Model*), un profil qui classe les individus selon cinq dimensions psychologiques.

2.3.2. Modèles pour la ludification

L'adaptation de la ludification peut être réalisée suivant le même schéma que l'adaptation dans les jeux : il faut d'abord identifier les propriétés ludiques d'une activité, puis lier ces propriétés aux caractéristiques du joueur. Bien que l'adaptation de la ludification n'en soit qu'à ses débuts, certains modèles conceptualisent les propriétés ludiques sur lesquelles nous pouvons nous appuyer. Comme nous l'avons vu, Robinson et Bellotti (2013) présentent une taxonomie des éléments de ludification, mais sans faire de lien avec les types d'utilisateur. Sailer *et al.* (2013) propose une liste d'éléments ludiques et décrit leurs liens avec différents concepts motivationnels. Ces deux travaux expliquent comment la ludification peut motiver, mais ne font pas le lien avec des classifications de joueurs.

Zichermann et Cunningham (2011) proposent d'utiliser le *framework* MDA (*Mechanics, Dynamics, Aesthetics*) développé par Hunicke *et al.* (2004). Les mécaniques correspondent à un élément de jeu en particulier dans l'interface utilisateur, comme une fonctionnalité ludique. Les dynamiques se placent au niveau de l'interaction entre ces mécaniques de jeu et l'utilisateur. Enfin, les « *aesthetics* » décrivent la réponse émotionnelle du joueur quand il interagit avec le système. Ce modèle donne une place à chaque concept mais n'établit pas de liens entre eux. Dans cet article, nous proposons une méthode pour associer directement les fonctionnalités ludiques aux différents types de joueurs, sans considérer les concepts intermédiaires.

3. Modèle et implémentation d'une ludification adaptative

Notre proposition d'architecture pour la ludification adaptative d'un EIAH (Monterrat *et al.*, 2014) repose sur un moteur d'adaptation éducatif et un moteur d'adaptation ludique, distincts de l'interface et développés indépendamment l'un de l'autre. Le premier repose sur un modèle d'apprenant prenant en compte ses connaissances, le second est fondé sur un modèle de joueur prenant en compte son profil BrainHex. Le premier agit sur les items sur lequel l'apprenant va travailler, le second agit sur les fonctionnalités ludiques implémentées dans l'interface. Seul le moteur d'adaptation ludique est présenté et évalué ici. Les fonctionnalités ludiques ont été implémentées de manière à pouvoir être activées et désactivées simplement, sans que cela n'ait de conséquence sur l'apprentissage et sur la cohérence de l'activité.

3.1. Modèle de joueur pour l'adaptation

Afin de présenter à l'apprenant la fonctionnalité qui lui est la plus adaptée, le modèle doit prédire si les apprenants apprécieront ou non les fonctionnalités ludiques développées. Si nous avons m apprenants et n fonctionnalités, ce résultat peut s'exprimer sous la forme d'une matrice $m \times n$ dans laquelle chaque valeur révèle l'appréciation de l'utilisateur pour la fonctionnalité associée. Nous appelons cette matrice **R**.

La matrice **R** peut s'exprimer comme le produit de deux matrices nommées **B** et **A** (figure 1). Si nous exprimons le profil d'un joueur sous la forme d'un vecteur composé de k facteurs, la matrice **B** est de dimensions $m \times k$ et la matrice **A** de dimension $k \times n$. Une ligne de la matrice **B** représente le degré d'appartenance du joueur à chacun des k facteurs. Une

colonne de la matrice **A** représente le poids de chaque facteur contribuant à la fonctionnalité correspondante.

Ce modèle suppose une relation linéaire entre les facteurs d'un profil et les préférences aux fonctionnalités ludiques : pour chaque facteur (**A**) dont la valeur n'est pas nulle, le profil d'un utilisateur (**B**) modifie en proportion sa préférence pour les fonctionnalités correspondantes (**R**). Le modèle linéaire se distingue du modèle conjonctif pour lequel l'ensemble des facteurs est nécessaire pour obtenir une préférence haute, et du modèle disjonctif pour lequel un seul facteur est suffisant pour obtenir une préférence haute. La figure 1 illustre par un exemple simplifié l'utilisation des matrices **B** et **A** pour obtenir la matrice **R** grâce à l'égalité $\mathbf{R} = \mathbf{B} \mathbf{A}$. Il comporte 4 utilisateurs (u1-u4), 3 fonctionnalités (f1-f3) et un modèle de joueur à 2 facteurs : compétition (C) et social (S).

	<u>f1</u>	<u>f2</u>	<u>f3</u>		<u>C</u>	<u>S</u>		<u>f1</u>	<u>f2</u>	<u>f3</u>	
u1	10	00	05	=	u1	10	00	C	1	0	½
u2	00	06	12		u2	00	12	S	0	½	1
u3	06	03	09		u3	06	06				
u4	-08	03	02		u4	-08	06				

**Figure 1 • Un exemple d'application
du modèle de joueur linéaire $\mathbf{R} = \mathbf{B} \mathbf{A}$.**

Dans cet exemple, la matrice **R** exprime les préférences de quatre joueurs (u1 à u4) envers trois fonctionnalités (f1 à f3). La matrice **B** (au centre) représente le profil de chaque joueur par un vecteur *k* comportant deux facteurs : compétition (C) et social (S). La matrice **A** (à droite) représente le degré de correspondance entre chaque facteur et chaque fonctionnalité. Dans cet exemple, nous observons que la première fonctionnalité (f1) est principalement axée sur la compétition, la deuxième (f2) fait émerger des mécaniques de jeu plus sociales, et la troisième (f3) met en place un peu de compétition et beaucoup de relations sociales.

En connaissant les sensibilités des utilisateurs aux différentes mécaniques de jeu (**B**) et la correspondance entre ces mécaniques et les fonctionnalités ludiques (**A**), une simple multiplication des matrices **B** et **A** permet d'obtenir l'appréciation des fonctionnalités par les utilisateurs sous la forme de la matrice **R**. Le premier utilisateur (u1) est sensible avant tout à la compétition. En conséquence, c'est la fonctionnalité f1 qui lui convient le mieux. Le deuxième utilisateur (u2) est sensible avant tout aux interactions sociales. C'est la fonctionnalité f3 qui lui convient le mieux, comme pour le troisième utilisateur (u3) qui aime autant la

compétition que les interactions sociales. Le dernier utilisateur (u4) est motivé par les interactions sociales, mais il n'apprécie pas du tout la compétition. Par conséquent, c'est f2 qui lui convient le mieux.

Dans un souci de simplification, l'exemple ci-dessus ne comporte que 2 dimensions. Dans ces travaux, nous utilisons le modèle de joueur BrainHex qui comporte 7 dimensions, comme indiqué dans la partie 2.2. Avec BrainHex, les individus n'appartiennent pas à un type de joueur unique. Ce modèle attribue à l'utilisateur une valeur dans [-10 ; 20] sur chacune des dimensions du profil de joueur. La matrice **B** comporte donc 7 colonnes et des valeurs comprises entre -10 et 20. Il en résulte que des valeurs négatives peuvent apparaître dans la matrice **R**. Celles-ci indiquent que la fonctionnalité est contre-adaptée à l'utilisateur et pourrait avoir un impact négatif sur sa motivation.

3.2. Environnement et fonctionnalités ludiques

Les expérimentations s'appuient sur un environnement d'apprentissage appelé Projet Voltaire, un environnement en ligne d'apprentissage de l'orthographe française. Il repose sur un mode d'interaction simple : le système présente une phrase potentiellement fautive à l'utilisateur. Celui-ci doit cliquer sur la faute s'il en voit une, ou cliquer sur le bouton « il n'y a pas de faute » s'il n'en voit pas. Après avoir répondu, l'apprenant peut consulter la règle explicative (figure 2). Les phrases sont associées à des règles d'orthographe et de grammaire. Les règles sont regroupées au sein de niveaux. La sélection des phrases est déterminée par un moteur d'adaptation pédagogique modélisant les connaissances de l'apprenant.

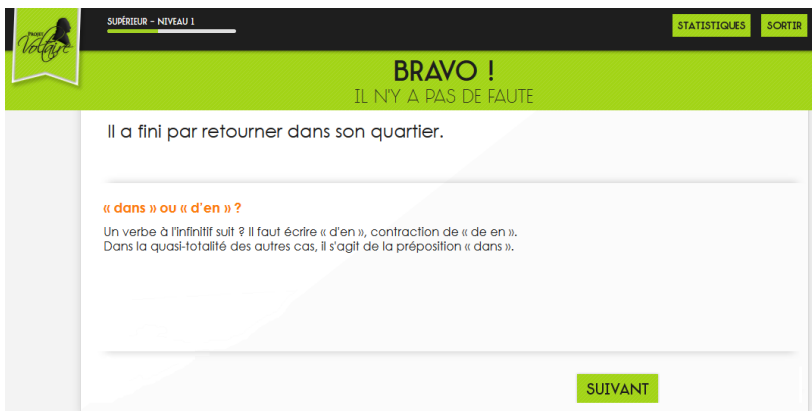


Figure 2 • Interface utilisateur du Projet Voltaire.

**Baptiste MONTERRAT, Élise LAVOUÉ,
Sébastien GEORGE, Michel DESMARAIS**

Le Projet Voltaire est équipé d'un moteur d'apprentissage prenant en compte l'état des connaissances de l'apprenant. Le moteur d'adaptation et cinq fonctionnalités ludiques ont été implémentés dans le Projet Voltaire par l'entreprise Woonoz, indépendamment du moteur d'apprentissage existant, tel que décrit dans la section 3.

La première fonctionnalité est un groupe d'étoiles, que l'utilisateur voit s'allumer une à une lorsqu'il apprend des règles de grammaire. La seconde est un tableau de scores (figure 3). Il classe les utilisateurs en fonction de leur meilleur nombre consécutif de bonnes réponses. Il ne montre pas les meilleurs utilisateurs du groupe mais ceux qui précèdent l'utilisateur concerné, dans le but de présenter un challenge accessible. La troisième fonctionnalité ludique propose aux utilisateurs de partager entre eux des moyens mnémotechniques pour mieux retenir les règles de grammaire. Elle encourage les interactions sociales. La quatrième fonctionnalité représente un randonneur qui progresse sur un chemin à chaque fois que l'utilisateur fait une bonne réponse. Lorsque ce dernier atteint certains points, elle lui donne accès à des anecdotes sur l'orthographe. La cinquième fonctionnalité affiche en permanence un chronomètre qui défile pendant que l'utilisateur répond. Cela lui donne l'opportunité de remporter des coupes s'il est assez rapide.

Les concepteurs des fonctionnalités ludiques ont veillé à implémenter à travers elles des mécaniques de jeu diverses, et à respecter les règles d'indépendance. Chaque fonctionnalité est notamment accompagnée d'une croix permettant à tout utilisateur de la masquer. La figure 3 propose une vue partielle des cinq fonctionnalités.

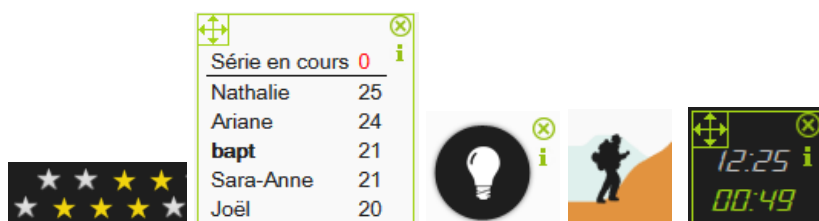


Figure 3 • Capture d'écran des 5 fonctionnalités implémentées.

3.3. Construction de la A-matrice

Dans une étude précédente, nous avons comparé deux façons d’obtenir une A-matrice (Monterrat *et al.*, 2015). L’expérimentation comparait une A-matrice obtenue à partir de l’avis d’experts et une A-matrice obtenue empiriquement à partir des préférences des utilisateurs. La matrice issue des experts s’est montrée plus fiable, c’est donc celle sur laquelle nous nous appuyons pour cette expérimentation.

Six experts, spécialisés en jeux sérieux et en ludification, ont été sollicités pour remplir une A-matrice de poids associant les types de joueurs et les fonctionnalités implémentées dans le Projet Voltaire. Ils ont d’abord pris connaissance de la typologie de joueur BrainHex. Ils ont ensuite utilisé le Projet Voltaire pendant environ une heure, interagissant avec chacune des 5 fonctionnalités ludiques. Ils pouvaient choisir les valeurs parmi les suivantes :

1. Correspondance totale : 1
2. Correspondance forte : 0,75
3. Correspondance moyenne : 0,50
4. Correspondance faible : 0,25
5. Aucune correspondance : 0

La A-matrice des experts a ensuite été calculée en sélectionnant la médiane des 6 avis d’experts sur chacune des 35 valeurs. La médiane est une bonne manière de chercher le consensus, sans être influencé par une note extrême donnée par un seul expert. Le tableau 1 présente la A-matrice des avis des experts ainsi obtenue.

**Tableau 1 • A-matrice issue de la consultation des experts.
Colonnes : fonctionnalités ludiques.
Lignes : types de joueurs BrainHex.**

	Étoiles	Tab. de scores	Astuces	Randonneur	Chronomètre
<i>Seeker</i>	0,5	0	0,75	0,88	0
<i>Survivor</i>	0,13	0,5	0	0	0,38
<i>Daredevil</i>	0,63	0,63	0	0,13	0,88
<i>Mastermind</i>	0,63	0,63	0,38	0,25	0,25
<i>Conqueror</i>	0,75	1	0,13	0,38	0,75
<i>Socializer</i>	0,13	0,13	1	0,25	0
<i>Achiever</i>	1	0,75	0,13	0,88	1

Cette A-matrice a été utilisée dans la formule $R = B A$ pour obtenir la prédiction R-experts.

Il est nécessaire que les experts soient d'accord entre eux pour que la A-matrice des experts soit considérée comme valide. Cela garantit que la matrice médiane reflète une réelle tendance. Nous avons utilisé la corrélation intra-classe (ICC) (Shrout et Fleiss, 1979) comme outil de mesure. Nous obtenons une valeur de 0,43 pour la corrélation entre les 6 experts, une valeur modérée mais suffisante pour confirmer l'accord entre eux. Cette A-matrice a donc été utilisée selon la formule $\mathbf{R} = \mathbf{B} \mathbf{A}$ pour obtenir la matrice de prédiction \mathbf{R} .

4. Étude sur l'impact de la ludification adaptative

Nous avons conçu une expérimentation visant à répondre principalement à cette question : « La ludification adaptative basée sur notre modèle peut-elle améliorer la participation des utilisateurs, et leur motivation à utiliser l'environnement d'apprentissage ? ». Le niveau de motivation et l'appréciation des fonctionnalités peuvent être évalués par questionnaire. Le niveau de participation peut être obtenu en mesurant directement le temps passé par les utilisateurs sur l'environnement d'apprentissage. Nous avons alors posé les trois hypothèses suivantes :

- H1. Des utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées passent plus de temps sur l'environnement que des utilisateurs avec des fonctionnalités mal adaptées ou sans fonctionnalités.
- H2. Des utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées apprécient mieux ces fonctionnalités que des utilisateurs avec des fonctionnalités mal adaptées ou sans fonctionnalités.
- H3. Des utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées ont un niveau de motivation plus élevé que des utilisateurs avec des fonctionnalités mal adaptées ou sans fonctionnalités.

4.1. Conditions expérimentales

4.1.1. Participants

Un appel à volontaires a été diffusé sur la page *Facebook* du Projet Voltaire. Les volontaires devaient remplir le questionnaire BrainHex et donner leur adresse e-mail pour s'inscrire. Le jour de la fermeture des inscriptions, nous avons 338 volontaires. Nous avons créé un groupe de 140 inscrits avec des fonctionnalités adaptées, un groupe de 140 inscrits avec des fonctionnalités contre-adaptées et un groupe de 58 inscrits sans fonctionnalité ludique. Les volontaires ont été attribués aléatoirement à chacun des groupes. 266 des 338 volontaires se sont effectivement

connectés au Projet Voltaire pendant la période d'expérimentation. Les participants effectifs étaient répartis ainsi :

- Groupe FA (Fonctionnalités adaptées) : 112 participants
- Groupe FC (Fonctionnalités Contre-adaptées) : 111 participants
- Groupe SF (Sans Fonctionnalité) : 43 participants

Les participants étaient à 79% des femmes. Ils étaient âgés de 18 à 75 ans (moyenne = 40,3 ans, écart type = 9,8 ans). La seule récompense qu'ont obtenue les utilisateurs pour leur participation était l'accès gratuit au Projet voltaire pendant la durée de l'expérimentation.

4.1.2. Protocole

Nous avons calculé la matrice R de prédiction des préférences des utilisateurs pour les fonctionnalités sur la base des matrices A (A-matrice des experts) et B (profils de joueur), selon la formule $R = B \cdot A$. Afin d'équilibrer les probabilités de sélection des fonctionnalités entre elles, nous avons ensuite normalisé les valeurs de R.

Les participants en conditions adaptées (FA) ont reçu les deux fonctionnalités ayant le meilleur score pour eux selon R. Les participants en conditions contre-adaptées (FC) ont reçu les deux fonctionnalités ayant les scores les plus bas pour eux selon R. Les membres du groupe SF n'avaient aucune fonctionnalité active dans leur environnement d'apprentissage. Le tableau 2 montre la répartition des fonctionnalités activées selon les groupes.

Tableau 2 • Répartition des fonctionnalités selon les groupes

	Étoiles	Tab.	Astuces	Rando.	Chrono	total
FA	20	45	54	60	45	224
FC	17	56	49	46	54	222
total	37	101	103	106	99	

Les étoiles ont été sélectionnées moins souvent que les autres fonctionnalités dans le processus. La raison de cela est que cette fonctionnalité convient relativement bien à tous les types de joueurs (comme le montre la A-matrice sur le tableau 1). Par conséquent les étoiles ont rarement été identifiées comme faisant partie des deux fonctionnalités les mieux adaptées (FA) ou des deux moins bien adaptées (FC).

Une fois le système initialisé, les participants ont reçu leurs identifiants pour se connecter au Projet Voltaire. Ils pouvaient alors utiliser le Projet Voltaire librement pendant une période de 3 semaines.

4.2. Résultats

4.2.1. Durée d'utilisation de l'environnement

Le tableau 3 représente le nombre de sessions et la durée totale moyenne passée sur le Projet Voltaire par chacun des trois groupes. Un test d'indépendance a été réalisé pour confirmer les différences observées.

Tableau 3 • Durée moyenne passée sur le Projet Voltaire
n = effectif m = moyenne, sd = écart type

Groupe	n	m	sd	test de Student avec FA	test de Wilcoxon avec FA
AF	112	2h36	2h20	N.A.	N.A.
CF	111	1h54	1h22	0.047	0.85
SF	43	1h53	1h29	0.104	0.378

Pendant la période de trois semaines, les participants du groupe FA ont passé en moyenne **2h36** sur le Projet Voltaire, tandis que les membres du groupe FC n'étaient connectés que **1h54**. Cela représente un écart de 42 minutes, soit 37 % de temps supplémentaire pour les membres du groupe FA par rapport à FC. Cet écart est confirmé avec le test de *Student* ($p = 0,047$, $p < 5\%$).

Nous présentons également les résultats au test de Wilcoxon, réalisé en raison des grands écarts types observés quant à la distribution des temps passés sur le site. Ce test n'est pas significatif. Le désaccord entre le test de Student et le test de Wilcoxon nous a amenés à regarder plus en détail la distribution des résultats dans chaque groupe. Elle est présentée en figure 4.

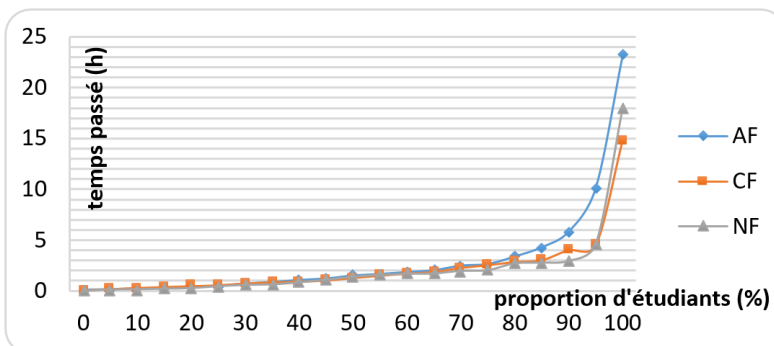


Figure 4 • Temps passé sur le Projet Voltaire en fonction du pourcentage cumulé de participants dans chaque groupe.

La figure 4 révèle un comportement similaire dans les trois groupes pour les premiers 75 % des utilisateurs, et des différences importantes pour les 25 % des utilisateurs les plus engagés. Nous présentons ces résultats en détail dans le tableau 4.

Tableau 4 • Temps passé sur le Projet Voltaire pour les 75% des utilisateurs les moins engagés et pour les 25% les plus engagés.
n = effectif, m = moyenne, sd = écart type

	les 75% moins engagés				les 25% plus engagés			
	n	m	sd	Wil. avec FA	n	m	sd	Wil. avec FA
FA	83	1h01	0h39	N.A.	29	7h08	4h07	N.A.
FC	82	1h00	0h33	0,778	29	4h24	1h43	0,006
SF	31	0h51	0h35	0,333	12	4h31	2h47	0,007

Pour les 75 % des utilisateurs les moins engagés, la durée moyenne de participation est presque la même dans les trois groupes, FA, FC et SF, allant de quelques secondes à deux heures. Pour les 25 % des utilisateurs les plus actifs, il y a une différence très importante dans le temps de participation. Le test de Wilcoxon réalisé sur ces participants montre des résultats très significatifs quand on compare le groupe avec fonctionnalités adaptées (FA) à celui qui avait des fonctionnalités contre-adaptées (FC) ($p = 0,006$, $p < 0,01$), mais aussi à celui sans fonctionnalités (SF) ($p = 0,007$, $p < 0,01$).

Ce résultat nous permet d'accepter l'hypothèse H1, les participants avec fonctionnalités adaptées ayant passé significativement plus de temps que les autres sur le Projet Voltaire. Cependant, nous devons signaler que ce gain ne s'applique qu'aux utilisateurs les plus engagés au départ, c'est à dire ceux qui ont passé plus de deux heures sur le Projet Voltaire.

L'équivalence des temps passés pour le groupe avec fonctionnalités contre-adaptées (FC) et celui sans fonctionnalités (SF) est un autre résultat important. Cela signifie que les fonctionnalités ludiques n'ont eu aucun impact sur le temps de participation des utilisateurs lorsqu'elles n'étaient pas en correspondance avec leur profil de joueur.

4.2.2. Motivation des participants

Pour évaluer la motivation des utilisateurs, nous avons utilisé le questionnaire SIMS (*Situational Motivation Scale*) de Guay *et al.* (2000). Nous présentons les résultats du questionnaire sur le tableau 5. Les valeurs

s'expriment sur une échelle de 4 à 28. Les effectifs dépendent du nombre total de 178 répondants au questionnaire final. Les comparaisons ont été réalisées avec le test de *Student*.

Tableau 5 • Résultats sur la motivation des participants
n = effectifs, m = moyenne, sd = écart type

	n	Motivation intrinsèque		Régulation identifiée		Amotivation	
		m	sd	m	sd	m	sd
FA	73	21,2	3,8	24,3	2,7	5,1	1,4
FC	75	21,1	4,2	23,6	3,5	6,1	2,7
SF	30	22,9	2,6	25,0	2,9	5,2	1,5

Les valeurs de *motivation intrinsèque* sont globalement hautes pour les trois groupes. La motivation intrinsèque est équivalente pour les groupes FA et FC. Par ailleurs, elle est significativement plus élevée pour le groupe sans fonctionnalité (SF), à la fois par rapport au groupe FA ($p = 0,031$) et par rapport au groupe FC ($p = 0,039$).

Les valeurs de *régulation identifiée* sont globalement hautes pour les trois groupes. La régulation identifiée est également équivalente pour les groupes FA et FC. Elle semble aussi plus faible pour les groupes avec fonctionnalités que pour le groupe SF, mais de manière non significative ($p > 0,05$).

Les valeurs de *l'amotivation* sont globalement faibles pour les trois groupes. Cependant, l'amotivation est significativement plus élevée pour le groupe avec fonctionnalités contre-adaptées que pour le groupe avec fonctionnalités adaptées ($p = 0,018$, $p < 0,05$). Cette différence signifie que les participants du groupe FC étaient moins motivés à continuer l'activité que ceux du groupe FA. Nous n'observons pas de différence significative entre les groupes d'utilisateurs ayant des fonctionnalités adaptées et ceux n'ayant aucune fonctionnalité. Ces résultats nous permettent de valider partiellement l'hypothèse H3, l'adaptation des fonctionnalités ludiques réduit l'amotivation des utilisateurs, la maintenant au même niveau qu'un environnement non ludifié. Ces résultats sont cohérents par rapport à ceux d'autres expérimentations que nous discutons dans la section 4.3.

4.2.3. Appréciation des fonctionnalités

Pour chacune des fonctionnalités présentes dans leur interface, nous avons demandé aux utilisateurs de noter l'affirmation « J'apprécie cette

fonctionnalité ». Les valeurs possibles pour la réponse étaient : 1 = « Non, pas du tout », 2 = « Très peu », 3 = « Un peu », 4 = « Moyennement », 5 = « Assez », 6 = « Tout à fait », 7 = « Oui, parfaitement ».

Les valeurs moyennes d'appréciation des fonctionnalités sont présentées dans le tableau 6.

**Tableau 6 • Appréciation des fonctionnalités selon les groupes
n = effectifs, m = moyenne, sd = écart type**

	n	Étoiles		Tableau		Astuces		Rando.		Chrono.		Toutes	
		m	sd	m	sd	m	sd	m	sd	m	sd	m	sd
FA	73	4,1	1,9	4,6	1,5	5,2	1,1	4,3	1,6	5,5	1,4	4,6	1,3
FC	75	5,5	0,9	4,4	1,4	4,6	1,5	4,2	1,7	5,1	1,3	4,7	1,4
total	148	4,8	1,6	4,5	1,5	4,9	1,2	4,3	1,6	5,2	1,4		

Les participants avec des fonctionnalités adaptées et les participants avec des fonctionnalités contre-adaptées ont donné des valeurs similaires d'appréciation pour la plupart des fonctionnalités. La seule fonctionnalité pour laquelle la différence est supérieure à 1 point est celle des étoiles, mais les effectifs sont trop faibles pour conclure à un écart significatif. Avec une moyenne de 4,6 pour FA et 4,7 pour FC, les utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées à leur profil **les apprécient autant** que des utilisateurs avec des fonctionnalités contre-adaptées. Ce résultat nous amène à rejeter l'hypothèse H2, l'appréciation des fonctionnalités semblant être indépendante du fait qu'elles soient adaptées au profil de l'utilisateur.

4.2.4. Impact de binômes de fonctionnalités

Nous avons observé dans les trois sections précédentes que l'adaptation des fonctionnalités : (1) augmente le temps passé sur l'environnement d'apprentissage, (2) diminue l'amotivation et (3) semble ne pas avoir d'impact sur l'appréciation des fonctionnalités. Pour confirmer l'indépendance de ces résultats avec la distribution initiale des fonctionnalités entre les groupes FA et FC, nous avons appliqué ces comparaisons à des sous-groupes d'utilisateurs ayant reçu exactement les mêmes fonctionnalités. Afin de sélectionner ces groupes, le tableau 7 montre la répartition des binômes de fonctionnalités parmi les membres des groupes FA et FC.

Seuls deux binômes de fonctionnalités sont présents en effectifs suffisants pour étudier leur impact de façon indépendante : les fonction-

nalités 2 et 5 (tableau de score et chronomètre) et les fonctionnalités 3 et 4 (astuces et randonneur).

Tableau 7 • Effectifs selon les binômes de fonctionnalités attribués dans les groupes FA et FC

FA	F1	F2	F3	F4	F5	FC	F1	F2	F3	F4	F5
F1						F1					
F2	2					F2	4				
F3	1	11				F3	4	9			
F4	15	0	38			F4	8	0	32		
F5	2	32	4	7		F5	1	43	4	6	

Dans le tableau 8, nous observons les variations dans le temps passé sur le site par ces sous-groupes de participants, ainsi que leur amotivation et leur appréciation des fonctionnalités.

Tableau 8 • Durée, amotivation et appréciation des fonctionnalités pour les participants avec les fonctionnalités (2 et 5) ou (3 et 4)

2 et 5	Durée	Amotiv.	Appréc	3 et 4	Temps	Amotiv.	Appréc.
FA	3h18	5,8	4,8	FA	2h28	4,4	5,0
FC	1h58	5,9	4,6	FC	2h02	7,0	4,8

Les participants ayant les fonctionnalités 2 et 5 dans le groupe FA ont passé en moyenne 1h20 de plus sur le Projet Voltaire que les participants du groupe FC avec les mêmes fonctionnalités. Cet écart n'est pas significatif à $p < 0,05$ ($p = 0,078$), mais la p-value est appréciable compte tenu de la taille des échantillons et de l'ampleur de la différence ($p < 0,01$). Par ailleurs, les participants avec les fonctionnalités 2 et 5 montrent des niveaux identiques d'amotivation et d'appréciation des fonctionnalités dans les groupes FA et FC.

Les participants ayant les fonctionnalités 3 et 4 dans le groupe FA ont passé 20 minutes en moyenne de plus sur le Projet Voltaire que les participants du groupe FC avec les mêmes fonctionnalités, un écart relativement faible et non significatif. Par ailleurs, les participants avec les fonctionnalités 3 et 4 avaient un niveau d'amotivation significativement plus bas dans le groupe FA que dans le groupe FC ($p = 0,006$, $p < 0,01$).

La comparaison des groupes ayant les fonctionnalités 2 et 5 confirme l'impact de l'adaptation sur le temps passé avec l'environnement d'apprentissage. La comparaison des groupes ayant les fonctionnalités 3

et 4 confirme le gain de motivation. Les deux groupes confirment que l'adaptation n'a pas d'incidence sur l'appréciation des fonctionnalités.

5. Discussion

5.1.1. Impact de l'adaptation des fonctionnalités

Concernant l'hypothèse H1 (temps passé), les résultats ont montré que (1) les utilisateurs avec fonctionnalités contre-adaptées passent autant de temps que les utilisateurs sans fonctionnalités ludiques sur l'environnement, (2) les utilisateurs les plus engagés restent significativement plus longtemps quand leurs fonctionnalités sont adaptées que lorsqu'elles ne le sont pas. Nous pouvons donc conclure que des fonctionnalités ludiques n'ont un impact sur la durée d'utilisation d'un environnement que lorsqu'elles correspondent au profil de joueur des utilisateurs. Plus précisément, nous avons observé que les fonctionnalités adaptées n'ont pas d'impact sur tous les utilisateurs mais seulement sur les plus engagés (25 % dans cette étude). Nous supposons que la raison à cela est que les fonctionnalités agissent sur les utilisateurs seulement au-delà d'un temps d'utilisation minimal. Cela implique que d'autres mécanismes doivent être utilisés pour retenir les utilisateurs pour les premières minutes d'utilisation.

Concernant l'hypothèse H2 (appréciation des fonctionnalités), les résultats n'ont montré aucune différence entre les groupes selon l'adaptation des fonctionnalités. Ce résultat est surprenant, car d'autres mesures ont montré un impact significatif de l'adaptation des fonctionnalités sur le comportement des utilisateurs. Cela suggère que l'appréciation consciente des fonctionnalités par les utilisateurs est indépendante de l'impact que ces fonctionnalités auront sur leur comportement. Ce résultat a des conséquences importantes sur la manière dont est réalisée l'adaptation : il implique que l'adaptation ne peut pas être réalisée à partir du choix des utilisateurs.

Concernant l'hypothèse H3 (motivation), nous avons tout d'abord observé que la motivation intrinsèque est plus faible pour ceux qui utilisent un environnement ludifié. Ce résultat est similaire à ceux observés dans des études récentes telles que celle de Hanus et Fox (2015). Pour les utilisateurs qui sont déjà intrinsèquement motivés par l'activité d'apprentissage (tel que c'était le cas dans notre étude), l'intégration de fonctionnalités ludiques peut avoir un effet négatif sur leur motivation. Par ailleurs, les résultats du questionnaire sur la motivation ont montré

que le fait d'utiliser des fonctionnalités adaptées aux utilisateurs permet de maintenir leur niveau d'amotivation aussi bas que si l'environnement n'était pas ludifié. Ce résultat conforte le besoin de ludification adaptative.

Enfin, nous avons également observé des différences significatives concernant l'amotivation et la participation des étudiants en fonction des fonctionnalités. Cela tend à montrer que l'impact de la fonctionnalité sur les utilisateurs diffère selon les mécaniques qu'elle implémente : certaines ont un impact sur la motivation et d'autres sur le temps passé. Par exemple, le chronomètre encourage les utilisateurs à recommencer un niveau pour battre leur meilleur temps, et ainsi à pratiquer plus longtemps. D'un autre côté, les astuces donnent aux utilisateurs un moyen d'aider les autres participants, ceci donnant plus de sens à l'activité pour eux. Nous pensons que ces premiers résultats ont un impact important sur la façon dont doivent être conçues les fonctionnalités ludiques selon l'impact désiré chez les utilisateurs. D'autres travaux permettraient d'étudier plus particulièrement quel type de fonctionnalité a un impact plutôt sur la motivation ou plutôt sur la participation des utilisateurs.

5.1.2. Limites de l'étude

Il aurait été intéressant de mesurer l'impact des fonctionnalités non seulement sur l'engagement, mais plus directement sur les résultats d'apprentissage de l'activité. Cela peut généralement être mesuré par le calcul du taux de bonnes réponses des participants ou le temps qu'ils mettent pour répondre (Attali et Arieli-Attali, 2015). Cependant cela n'était pas possible dans le cadre cette étude, car le moteur d'adaptation pédagogique du Projet Voltaire adaptait le niveau de difficulté des exercices en temps réel, ce qui fait que tous les utilisateurs avaient des taux de bonnes réponses similaires.

Nous sommes conscients que le système de ludification proposé ne s'applique qu'à un certain type d'environnement, notamment avec des activités pédagogiques répétitives et structurées telles que les questionnaires à choix multiples. De telles fonctionnalités ludiques ne conviennent pas à des activités plus complexes, telles que celles favorisant la créativité. Cependant, les questionnaires et petits exercices sont actuellement très répandus dans les LMS (*Learning Management Systems*) tels que Moodle. De plus, de telles activités ont particulièrement besoin de la ludification, à cause de leur nature peu intrinsèquement motivante.

Pour terminer, notons que les participants à cette expérimentation étaient tous les volontaires intéressés par l'utilisation de l'environnement d'apprentissage. Cela a probablement joué un rôle dans les résultats concernant la motivation. Il serait intéressant de conduire une telle expérimentation dans un contexte où les participants ne s'engagent pas dans l'activité par choix, dans un contexte scolaire par exemple.

6. Conclusion et perspectives

Dans cet article nous avons présenté un modèle d'adaptation pour proposer à un apprenant utilisant un environnement d'apprentissage en ligne des fonctionnalités ludiques qui correspondent à son profil de joueur. Ce modèle est basé sur une relation linéaire entre les types de joueurs et les fonctionnalités. Nous avons mené une expérimentation en conditions écologiques et avons montré que la ludification adaptative peut (1) améliorer significativement la participation des utilisateurs sur l'environnement d'apprentissage et (2) réduire le niveau d'amotivation des utilisateurs. Par ailleurs, certains résultats suggèrent que la participation et la motivation des utilisateurs ne sont pas nécessairement reliés, et peuvent être influencés par des mécaniques de jeu différentes.

Le système proposé sélectionne les fonctionnalités ludiques en prenant en compte le profil de joueur des utilisateurs, mais ne prend actuellement pas en compte par exemple ceux qui ne souhaitent pas jouer. Une prochaine version du système pourrait faire varier non seulement le choix des fonctionnalités mais aussi le nombre de fonctionnalités activées pour un utilisateur donné. Le système déciderait par exemple de ne donner aucune fonctionnalité à un utilisateur déjà intrinsèquement motivé par l'activité pédagogique, et trois fonctionnalités ou plus à un utilisateur initialement démotivé mais sensible aux mécaniques de jeu. Cela préviendrait la baisse de la motivation intrinsèque des utilisateurs.

Actuellement, l'adaptation est rendue possible grâce au questionnaire BrainHex que l'utilisateur remplit avant de commencer à utiliser l'EIAH. La suite de notre travail sera dédiée à la mise à jour du profil de joueur en temps réel à partir des traces d'utilisation. Cela permettra de prendre en compte les modifications du profil de joueur de l'utilisateur, en réduisant l'utilisation du questionnaire BrainHex et en utilisant des méthodes de classification non supervisées.

Remerciements

Nous remercions l'ANRT et l'entreprise Woonoz pour le financement de ce travail de recherche. Nous remercions également l'équipe de Woonoz pour le travail de développement de la version expérimentale du Projet Voltaire et la mise en relation avec la communauté d'utilisateurs qui s'est portée volontaire pour participer à l'expérience. Nous remercions aussi les experts pour leur travail sur la A-matrice. Enfin nous remercions International Hobo pour nous avoir permis d'utiliser librement le questionnaire BrainHex.

BIBLIOGRAPHIE

ALEVEN, V., SEWALL, J., POPESCU, O., van VELSEN, M., DEMI, S. et LEBER, B. (2015). Reflecting on twelve years of ITS authoring tools research with CTAT. Dans *Design recommendations for adaptive intelligent tutoring systems*, 3, 263-283.

ATTALI, Y. et ARIELI-ATTALI, M. (2015). Gamification in assessment: Do points affect test performance? *Computers & Education*, 83, 57-63.

BARTLE, R. (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs. *Journal of MUD research*, 1(1) Repéré à <http://mud.co.uk/richard/hcds.htm>

BÍRÓ, G. I. (2014). Didactics 2.0: A Pedagogical Analysis of Gamification Theory from a Comparative Perspective with a Special View to the Components of Learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 141, 148-151.

BLOOM, B. S. (1984). The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational researcher*, 13(6), 4-16.

BONENFANT, M. et GENVO, S. (2014). Une approche située et critique du concept de gamification. *Sciences du jeu*, 2.

CALLAN, R. C., BAUER, K. N. et LANDERS, R. N. (2015). How to Avoid the Dark Side of Gamification: Ten Business Scenarios and Their Unintended Consequences. Dans T. Reiners et L. C. Wood (dir.), *Gamification in Education and Business* (p. 553-568). Springer.

CRAIG, S. D., HU, X., GRAESSER, A. C., BARGAGLIOTTI, A. E., STERBINSKY, A., CHENEY, K. R. et OKWUMABUA, T. (2013). The impact of a technology-based mathematics after-school program using ALEKS on student's knowledge and behaviors. *Computers & Education*, 68, 495-504.

CSIKSZENTMIHALYI, M. (1998). *Finding flow: The psychology of engagement with everyday life*. Basic Books.

DESMARAIS, M. C. et BAKER, R. S. (2012). A review of recent advances in learner and skill modeling in intelligent learning environments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22(1-2), 9-38.

DETERDING, S., DIXON, D., KHALED, R. et NACKE, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining gamification. Dans *Proceedings of the 15th*

International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments (p. 9-15).

FENOUILLET, F. et TOMEH, B. (1998). La motivation agit-elle sur la mémoire ? *Éducation permanente*, 136(10), 37-45.

FERRO, L. S., WALZ, S. P. et GREUTER, S. (2013). Towards personalised, gamified systems: an investigation into game design, personality and player typologies. Dans *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Matters of Life and Death* (p. 7).

GÖBEL, S., WENDEL, V., RITTER, C. et STEINMETZ, R. (2010). Personalized, adaptive digital educational games using narrative game-based learning objects. Dans *Entertainment for Education. Digital Techniques and Systems* (p. 438-445). Springer.

GUAY, F., VALLERAND, R. J. et BLANCHARD, C. (2000). On the assessment of situational intrinsic and extrinsic motivation: The Situational Motivation Scale (SIMS). *Motivation and emotion*, 24(3), 175-213.

HAMARI, J., KOIVISTO, J. et SARSA, H. (2014). Does gamification work? - A literature review of empirical studies on gamification. Dans *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (p. 3025-3034). IEEE.

HANUS, M. D. et FOX, J. (2015). Assessing the effects of gamification in the classroom: A longitudinal study on intrinsic motivation, social comparison, satisfaction, effort, and academic performance. *Computers & Education*, 80, 152-161.

HOCINE, N., GOUAÏCHE, A., Di LORETO, I. et ABROUK, L. (2011). Techniques d'adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. *Revue d'intelligence artificielle*, 25(2), 253-280.

HUNICKE, R., LE BLANC, M. et ZUBEK, R. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. Dans *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*. Menlo Park, CA : AAAI Press. Repéré à <http://www.cs.northwestern.edu/~rob/publications/MDA.pdf>

HUOTARI, K. et HAMARI, J. (2012). Defining gamification: a service marketing perspective. Dans *Proceedings of the 16th International Academic MindTrek Conference* (p. 17-22). ACM.

KAPP, K. M. (2012). *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*. John Wiley et Sons.

MARNE, B., CARRON, T., LABAT, J.-M. et MARFISI-SCHOTTMAN, I. (2013). MoPPLiq: A Model For Pedagogical Adaptation of Serious Game Scenarios. Dans *Proceedings of the IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (p. 291-293).

MONTERRAT, B., LAVOUÉ, E. et GEORGE, S. (2014). Motivation for learning: Adaptive gamification for web-based learning environments. Dans *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU)* (p. 117-125).

MONTERRAT, B., DESMARAIS, M., LAVOUÉ, E. et GEORGE, S. (2015). A player model for adaptive gamification in learning environments. Dans *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED)* (p. 297-306).

MONTERRAT, B., LAVOUÉ, E. et GEORGE, S. (2017). Adaptation of gaming features for motivating learners. À paraître dans *Simulation and Gaming*.

**Baptiste MONTERRAT, Élise LAVOUÉ,
Sébastien GEORGE, Michel DESMARAIS**

NACKE, L. E., BATEMAN, C. et MANDRYCK, R. L. (2014). BrainHex: A neurobiological gamer typology survey. *Entertainment Computing*, 5(1), 55-62.

NATKINS, S., YAN, C., JUMPERTZ, S. et MARKET, B. (2007). Creating Multiplayer Ubiquitous Games Using an Adaptive Narration Model Based on a User's Model. Dans *Proceedings of the Digital Games Research Association International Conference (DiGRA 2007)*.

PRENSKY, M. (2001). *Digital game-based learning*. New York, NY : McGraw-Hill.

ROBINSON, D. et BELLOTTI, V. (2013). A preliminary taxonomy of gamification elements for varying anticipated commitment. Dans *Proceedings of the ACM CHI 2013 Workshop on Designing Gamification: Creating Gameful and Playful Experiences*.

SAILER, M., HENSE, J., MANDL, H. et KLEVERS, M. (2013). Psychological Perspectives on Motivation Through Gamification. *Interaction Design and Architecture(s) Journal - IxD&A*, 19, p. 28-37.

SHROUT, P. E. et FLEISS, J. L. (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological bulletin*, 86(2), 420.

SZILAS, N. et SUTTER WIDMER, D. J. (2009). Mieux comprendre la notion d'intégration entre apprentissage et jeu. Dans S. Georges et E. Sanchez (dir.), *Actes de l'atelier Jeux Sérieux, 4ème conférence francophone Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH)* (p. 27-39).

THUE, D., BULITKO, V., SPETCH, M. et WASYLISHEN, E. (2007). Interactive Storytelling: A Player Modelling Approach. Dans *Proceedings of 3rd Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE)* (p. 43-48).

VASSILEVA, J. (2012). Motivating participation in social computing applications: a user modeling perspective. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22(1-2), 177-201.

VENHUIZEN, N., BASILE, V., EVANG, K. et BOS, J. (2013). Gamification for word sense labeling. Dans *Proceedings of 10th International Conference on Computational Semantics (IWCS-2013)* (p. 397-403).

WILSON, A. S. et McDONAGH, J. E. (2014). A Gamification Model to Encourage Positive Healthcare Behaviours in Young People with Long Term Conditions. *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning*, 14(2). doi:10.4108/sg.1.2.e3

YEE, N. (2006). Motivations for play in online games. *CyberPsychology et Behavior*, 9(6), 772-775.

ZICHERMANN, G. et CUNNINGHAM, C. (2011). *Gamification by Design: Implementing game mechanics in web and mobile apps*. O'Reilly Media, Inc.



Abstraction des fonctionnalités d'une plateforme de formation pour la mise en œuvre de langages de scénarisation

► **Esteban LOISEAU, Pierre LAFORCADE** (LIUM, Le Mans-Laval), **Nour EL MAWAS** (Télécom Bretagne, Brest), **Sébastien IKSAL** (LIUM, Le Mans-Laval)

■ **RÉSUMÉ** • Le projet GraphiT vise à aider les enseignants à spécifier des scénarios pédagogiques pertinents qui puissent être opérationnalisés en tant que cours sur un *Learning Management System* cible. Nous nous intéressons à l'abstraction des aspects opérationnalisés afin de mettre l'accent sur la dimension spécification de la scénarisation. Nous proposons une approche centrée Moodle pour abstraire les usages des fonctionnalités du LMS et spécifier des briques de conception pédagogique de plus haut-niveaux. Nous proposons un langage et un éditeur de scénarisation pédagogique graphique.

■ **MOTS-CLÉS** • Informatique, Scénario pédagogique, Méta-modélisation, Outil auteur, Système de gestion de cours

■ **ABSTRACT** • *The GraphiT project aims to help teachers in specifying of pedagogically sound learning scenarios that can be executed for automatically setting-up the related Learning Management System course. We intend to provide teachers with LMS-specific instructional design languages and editors. To achieve this goal, we have to raise the LMS semantics in order to enrich the pedagogical expressiveness of the produced models. We propose a specific LMS-centered approach for abstracting the low-level concepts and turning these semantics into higher-level pedagogical building blocks. We present and illustrate our propositions focused on the Moodle LMS.*

■ **KEYWORDS** • *Computer science, Pedagogical Scenario, Learning Scenario, Meta-modelling, Authoring Tool, Learning Management System*

1. Introduction

De nos jours, les plateformes de formation ou *Learning Management Systems* (LMS) sont répandues dans les institutions académiques. Leur usage n'est plus limité à des formations à distance, mais s'est étendu aux formations mixtes comme aux formations en présentiel (Garrison et Kanuka, 2004). Néanmoins, les résultats d'une enquête et d'entretiens que nous avons menés en 2014 auprès de 208 enseignants mettent en avant de nombreuses difficultés quant à l'appropriation et l'utilisation de ces plateformes (Podvin et Laforcade, 2014). S'ils souhaitent mettre en place des activités pédagogiques complexes, les enseignants doivent développer des compétences de haut niveau quant à l'utilisation du LMS : comment et quand utiliser les différentes fonctionnalités de la plateforme afin de supporter l'objectif pédagogique fixé ? Ces compétences peuvent être acquises au cours de formations professionnelles, qui se concentrent davantage sur les aspects techniques liés aux fonctionnalités de la plateforme qu'à la conception de scénarios pédagogiques cohérents et adaptés à cette plateforme. Étant donné la multiplicité des théories éducatives (Ormrod, 2011) et des approches de conception, ainsi que l'absence d'outils et de méthodes de scénarisation spécifiques aux LMS, les enseignants développent, de façon *ad-hoc*, leurs propres méthodes et outils de conception.

Dans un tel contexte, il semble pertinent d'aider les enseignants-concepteurs à mieux exploiter les LMS à leur disposition plutôt que de leur proposer des outils de conception, indépendants des plateformes, pédagogiquement expressifs, mais ayant des difficultés à faciliter la mise en œuvre des modèles de conception produits (tels que (Alario-Hoyos *et al.*, 2012) et (Katsamani *et al.*, 2012)) pour les travaux récents sur ce domaine). Notre approche consiste ainsi à s'intéresser à une plateforme donnée et à identifier son potentiel en termes d'expressivité pédagogique (c.-à-d. que l'on saura mettre en œuvre sans perte d'information). Nous cherchons donc à produire des langages de scénarisation, et leurs outils-auteurs associés, dédiés à la spécification et la mise en œuvre de situations d'apprentissage pour une plateforme donnée. À l'aide de tels outils nous cherchons à ce que les enseignants puissent plus facilement s'approprier leur plateforme et ainsi concevoir et mettre en œuvre des situations d'apprentissage plus évoluées sur le plan pédagogique.

Le projet GraphiT (financé par l'Agence Nationale de la Recherche) suit cette approche de conception centrée plateforme. Son objectif

principal est d'étudier les techniques liées à l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) et le *Domain Specific Modeling* (DSM) afin d'explicitier le métier de conception des plateformes, puis de l'abstraire afin de concevoir des langages de scénarisation pédagogique graphiques de plus haut niveau d'expressivité sans perte d'information lors de la mise en œuvre. Des précédents travaux se sont intéressés à la méta-modélisation pour identifier et expliciter le métier de conception de plusieurs plateformes (Abedmouleh *et al.*, 2008). Cet article s'intéresse quant à lui à l'exploitation de techniques de méta-modélisation afin de traiter l'abstraction du métier de conception de la plateforme et d'augmenter ainsi l'expressivité pédagogique. La proposition d'abstraction que nous présentons dans cet article concerne uniquement la plateforme Moodle.

2. Contexte de recherche

2.1. Plateforme de formation et scénarisation pédagogique

Un *Learning Management System* (LMS) est un environnement logiciel qui permet la mise en œuvre et le déroulement de processus d'apprentissage ou de parcours pédagogiques. A l'origine il s'agissait de plateformes dédiées à la formation ouverte et à distance. Ces dispositifs avaient pour premières finalités la consultation à distance de contenus pédagogiques, l'individualisation de l'apprentissage et le télé-tutorat. De nos jours, ces LMS (pour les plus répandus : Moodle, Claroline, Sakai, Dokeos...) sont largement déployés et utilisés dans les institutions de formation pour tous types d'apprentissage : à distance, en *blended learning*, comme en présentiel. Les LMS fournissent actuellement de nombreuses fonctionnalités et outils pour l'hébergement des contenus pédagogiques, le contrôle de l'accès aux ressources, la réalisation des activités pédagogiques, la mise en place et le suivi des apprentissages, ou des activités de tutorat, le pilotage de la formation, la gestion des communautés d'apprenants et d'enseignants, la gestion administrative des formations, la gestion technique de la plateforme, etc.

Le développement d'un LMS suit, explicitement ou non, certains courants éducatifs et intègre des approches pédagogiques spécifiques. Par exemple, Moodle adopte officiellement une approche socio-constructiviste (Dougiamas et Taylor, 2003). Globalement, les LMS proposent une approche de conception exploitant l'agrégation et le séquençage de nombreux types d'outils (aussi appelées fonctionnalités ou, avec plus d'ambiguïté, activité pour la plateforme Moodle) et de ressources. Les

enseignants-concepteurs ont alors la charge de combiner ces divers éléments pour mettre en œuvre des activités pédagogiques à différents grains selon leurs besoins, leurs approches de conception, et leurs connaissances et compétences vis-à-vis de la plateforme (par exemple : simple consultation de ressource, mise en œuvre d'auto-évaluation, résolution de situations-problèmes collaboratives complexes, etc.).

Les standards centrés activités, tel que IMS-Learning Design (IMS-LD), n'ont pas réussi à s'intégrer dans les LMS actuels. Des travaux menés (Burgos *et al.*, 2007) ont montré que, en plus du coût d'ingénierie, cela nécessitait de faire évoluer le métier même de conception de la plateforme en lui ajoutant un « moteur d'exécution » dédié au standard. Les approches les plus récentes (Berggren *et al.*, 2005) (Katsamani *et al.*, 2012), ayant cherché à proposer des langages opérationnalisables sur les plateformes existantes sans les dénaturer, n'ont pas réussi à fournir de solutions robustes pour éviter d'appauvrir les modèles conçus lors du passage à la mise en œuvre.

Moodle propose son propre format d'import pour les quiz. Notre idée est de généraliser cette approche à tous les aspects de la conception pédagogique (spécification et opérationnalisation). Le projet GraphiT part de l'hypothèse que si les LMS étaient capables d'explicitier formellement leur « format opérationnel » de scénarisation pédagogique, et par extension d'importer des modèles conformes à ce format, alors cela permettrait d'élaborer des langages de conception, dédiés à tel ou tel aspect de conception, à divers degrés d'abstraction selon les objectifs et le positionnement du langage développé.

2.2. Outils et langages de scénarisation pédagogique pour Moodle

L'objectif à gros grain du projet est d'explorer les limites, en termes d'expressivité pédagogique, de langages de scénarisation pédagogique opérationnalisables pour un LMS cible. D'après la classification des *Visual Instructional Design Modeling Languages* proposée par (Botturi *et al.*, 2006), nous visons des langages de scénarisation de type **formels** (scénarios interprétables par la machine), comprenant un ensemble fini de concepts et de règles de construction des scénarios pédagogiques, aux niveaux **spécification** (description de la tâche sans prendre en compte la plateforme cible) et/ou **implémentation** (description de la mise en œuvre de la tâche sur la plateforme cible), et qui proposeront une notation **visuelle** (scénarios compréhensibles par l'humain). Se pose donc la

question de l'expressivité que peuvent offrir des langages de scénarisation permettant de s'abstraire de la dimension implémentation de la plateforme cible, tout en garantissant le fait que les scénarios produits soient bien implémentables sur cette plateforme. Le travail de recherche présenté dans cet article ne répond pas complètement à cette question, mais présente un premier résultat d'abstraction mis en œuvre pour la plateforme Moodle. Nous nous sommes intéressés aux langages de scénarisation existants dont les propriétés sont proches de celles que l'on recherche.

Le système *Glue!* associé à l'éditeur *Glue!PS* (Alario-Hoyos *et al.*, 2012) ainsi que l'éditeur de scénarios *CADMOS* (Katsamani *et al.*, 2012) sont deux exemples récents de travaux partageant nos objectifs. Ils proposent tous deux une solution indépendante de la plateforme, mais avec la possibilité de déployer les scénarios produits vers la plateforme la plus courante : Moodle. Dans les deux cas le déploiement se fait concrètement en exploitant la fonction de restauration de cours de Moodle. Ils génèrent des fichiers conformes au format d'un cours de la plateforme ; chaque concept du langage est associé à un équivalent dans le modèle de données de la plateforme (subjectif à chaque approche). Avec *CADMOS*, cette phase de traduction est réalisée par l'éditeur. Elle s'appuie sur des correspondances non modifiables, fixées par les auteurs. *Glue!* propose une approche différente où les scénarios produits sont traduits (via des *adaptateurs* dédiés) vers un langage pivot intermédiaire (non accessible aux enseignants-concepteurs) pour être indépendant du langage de scénarisation d'origine. Cette correspondance *abstraite* est alors à nouveau traduite (via de nouveaux *adaptateurs* spécifiques) en scénario spécifique à une plateforme telle que Moodle. Ce type d'approches mène à des adaptations et des pertes sémantiques durant les phases de « traduction » des scénarios spécifiés par les concepteurs. Ces pertes sémantiques sont liées à la trop grande dissimilarité entre le langage de conception et le modèle de données (et par extension, les fonctionnalités) de la plateforme. De plus, ces correspondances ne peuvent pas être adaptées par le concepteur (*CADMOS*) ou difficilement (pour *Glue!* cela revient à développer un nouvel *adaptateur*).

Le projet *Flexo* (Dodero *et al.*, 2010) propose également un langage de scénarisation pédagogique intégrant des éléments sémantiques liés à la description des activités ainsi qu'à leur séquençement. Sa particularité est de proposer une représentation des scénarios sous une forme textuelle annotable par le concepteur (langage pivot spécifique à *Flexo*, contrai-

rement au langage pivot abstrait de *Glue!*). Les spécifications du scénario et les moyens de les opérationnaliser sur Moodle sont explicités et modifiables (approche *scripts*). Mais pour cela le concepteur devra maîtriser ce nouveau langage textuel. Les approches actuelles ont donc :

- (1) une expressivité limitée (types d'activités très proches des notions d'outils, structure du scénario, ...) qui ne représente pas des pratiques spécifiques à une communauté d'enseignants-concepteurs,
- (2) une prise en charge de l'opérationnalisation des scénarios faible (pas de considérations du paramétrage fin des outils et services de Moodle), s'appuyant sur des correspondances pas ou difficilement adaptables par un enseignant.

D'autres travaux (Abdallah *et al.*, 2008) ont montré que les techniques issues de *l'Ingénierie Dirigée par les Modèles* (IDM), telles que les transformations de modèles, peuvent permettre de transformer un modèle de scénario centré concepteur en un modèle spécifique à une plateforme. Néanmoins, ils mettent en avant la complexité des transformations en jeu, et donc le coût de leur conception, ainsi que la perte sémantique inhérente.

2.3. Le projet GraphiT d'un point de vue IDM et DSM

La méthodologie du projet consiste à explorer comment l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) et particulièrement le *Domain Specific Modeling* (DSM) (Kelly et Tolvanen, 2008) peuvent permettre de développer des éditeurs de scénarios pédagogiques ayant les caractéristiques suivantes :

- spécifiques à un LMS ;
- suffisamment expressifs pour pouvoir s'abstraire du métier de conception du LMS ;
- opérationnalisables, *i.e.* pouvoir être exécutables.

L'IDM est une méthodologie d'ingénierie logicielle qui privilégie la définition et l'exploitation de modèles et de méta-modèles, plutôt que la production manuelle de code source (Schmidt, 2006). Les travaux de recherche en IDM s'intéressent notamment à la spécification, l'exécution, la transformation, la composition de ces (méta-) modèles et proposent de nombreux outils et langages pour supporter ces activités. Le DSM (Kelly et Tolvanen, 2008) peut être considéré comme un processus issu de l'IDM, il vise à systématiser la conception et l'utilisation de langages de modélisation spécifiques à un domaine métier. Ces langages visent la plupart du

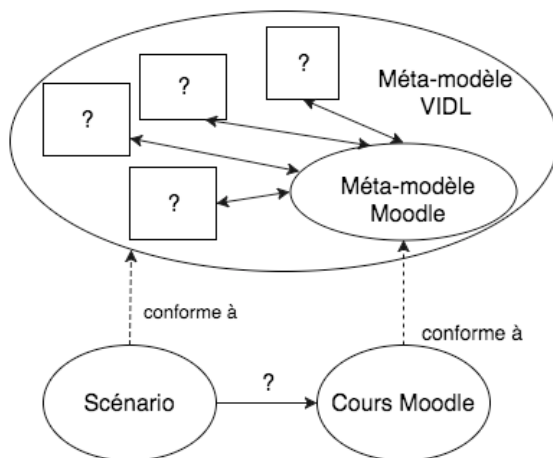
temps des modèles formels à haut-niveau d'abstraction, le plus proche possible des constructions et de la sémantique du domaine métier visé, en opposition aux langages semi-formels dits *généralistes*, comme UML (*Unified Modeling Language*, qui demandent aux concepteurs un effort de spécification supplémentaire.

Notre approche originale est de proposer une architecture directement dépendante du LMS considéré, afin de concevoir un langage de scénarisation tout en prenant en compte, dès son élaboration, des problématiques de correspondances entre le métier de conception, à niveau *spécification* (à construire), et le métier de conception du LMS, à niveau *implémentation* (à expliciter et formaliser). Nous ne cherchons pas à étendre les fonctionnalités du LMS avec de nouveaux *plugins* qui ajouteraient de nouveaux outils pédagogiques ou de nouveaux « moteurs d'exécution ». Notre objectif est de supporter la spécification de scénarios pédagogiques *en accord* avec le métier de conception du LMS, à niveau implémentation : ce métier est réifié au travers de certains outils/services, de certaines interfaces et paramétrages, du *workflow* ou *learning flow* sous-jacent, etc. Ce métier de conception doit être dans un premier temps identifié et formalisé sous forme de méta-modèle. Ce dernier servira alors de base à l'élaboration d'un schéma XSD (*XML Schema Definition*) qui définit le format de fichier compatible avec l'API d'import à développer. Cette API sera accessible aux enseignants-concepteurs à travers l'interface utilisateur de leur espace-cours sur la plateforme. Elle a pour fonction de traiter le fichier XML (*eXtensible Markup Language*) du scénario (issu de l'éditeur) afin d'ajouter les données adéquates à la base de données du LMS.

Dans le cadre du projet GraphiT, des travaux précédents se sont intéressés à la formalisation du méta-modèle de la plateforme (Abedmouleh *et al.*, 2008), expérimentée sur plusieurs plateformes dont Moodle. L'API a également été développée pour Moodle 2.4. Nous considérons dorénavant ces éléments comme existants et exploitables. Également, des résultats de travaux précédents (Loiseau et Laforcade, 2013) ont montré que la solution présentant le meilleur compromis entre expressivité pédagogique et compatibilité avec le LMS est d'étendre le méta-modèle de la plateforme. Cette solution a l'inconvénient de nécessiter une expertise importante en méta-modélisation afin de limiter le coût de développement induit par la nécessité de rendre les modèles conformes au méta-modèle de la plateforme (*i.e.* rétablir la compatibilité). En effet, en étendant le méta-modèle de la plateforme, nous modifions la syntaxe

abstraite de notre langage de modélisation et donc perdons la conformité avec le format d'import de la plateforme. La figure 1 schématise :

- (1) notre approche par extension du méta-modèle de Moodle pour élaborer le méta-modèle d'un *Visual Instructional Design Language* (VIDL),
- (2) la nécessité de contrôler les correspondances vers Moodle pour les nouveaux éléments, et
- (3) le besoin de remise en conformité du scénario produit.



**Figure 1 • Schématisation de notre approche
et des verrous à considérer**

Malgré le fait que notre approche soit spécifique à un LMS cible, l'abstraction du métier d'implémentation doit être dirigée vers des pratiques et besoins au niveau spécification que l'on cherche à couvrir. La prochaine section traite de cette collecte.

3. Collecte et analyse des besoins

Afin d'orienter nos propositions, nous avons mené à la fois une étude théorique sur plusieurs sources, notamment (Conole *et al.*, 2004), et une étude plus pratique en interrogeant des ingénieurs pédagogiques ainsi que des enseignants universitaires. Nous avons également conduit une enquête à plus grande échelle, à l'aide d'un questionnaire en ligne, suivie d'entretiens avec certains des répondants. L'objectif était de vérifier nos hypothèses et de recueillir des avis sur les orientations du projet. Cela fut également l'occasion de collecter des informations sur les pratiques, en

termes d'usage des LMS, et les besoins concernant les outils de conception pédagogique de nos potentiels utilisateurs finaux.

3.1. Analyse des résultats de l'enquête

L'enquête (Podvin et Laforcade, 2014) a été réalisée sous la forme d'un questionnaire en ligne, diffusé au sein de la communauté francophone des enseignants du supérieur, sur une durée de quatre semaines. L'enquête visait en particulier les enseignants et ingénieurs pédagogiques utilisateurs de LMS. Le questionnaire comprenait 21 questions, permettant pour la plupart des réponses multiples. Les 8 premières questions (portant sur la conception globale des cours) étaient indépendantes du LMS utilisé par le répondant. Les autres questions n'étaient accessibles qu'aux personnes déclarant utiliser Moodle. Nous avons reçu et analysé 208 réponses. Voici quelques-uns des points les plus remarquables et pertinents dans le contexte de cet article.

Sur le contexte d'enseignement :

- 74 % des répondants utilisent un LMS en complément de leurs cours en présentiel (32 % uniquement pour cet usage) ;
- 52 % l'utilisent pour des cours à distance ;
- 37 % l'utilisent pendant les sessions en présentiel.

Sur les types d'usage de la plateforme :

- 91 % des répondants utilisent le LMS pour de la transmission de documents ;
- 52 % pour recueillir des devoirs ;
- 47 % pour supporter des activités collaboratives ;
- 47 % pour des évaluations ;
- 58 % pour des pratiques pédagogiques innovantes.

La moitié des répondants a déclaré avoir expérimenté sur la plateforme par eux-mêmes. Parmi ceux qui ne se considèrent pas comme novices (56 %), 73 % déclarent avoir amélioré leurs compétences par eux-mêmes quant à l'utilisation de la plateforme.

Bien que la moitié des utilisateurs de Moodle ayant répondu au questionnaire considèrent que l'interface utilisateur d'un cours est facile à manipuler, seuls 33 % pensent que les écrans de paramétrage à base de formulaires sont compréhensibles. D'un point de vue conception pédagogique, 38 % conçoivent entièrement (37 % partiellement) leur scénario avant de mettre en place le cours équivalent sur Moodle. 43 % de cette sous-population déclare rencontrer des difficultés lors de cette étape de

transition et se sont sentis contraints à modifier leur scénario initial et leurs intentions (12 % déclarent ne pas réussir à adapter leur scénario).

La majorité des utilisateurs de Moodle exploitent les fonctionnalités de base de la plateforme telles que l'indentation (64 %) ou le paramètre de visibilité (84 %). La moitié des répondants utilisent la fonctionnalité de notation des devoirs, ainsi que les groupes et groupements si nécessaire. 62 % utilisent la restriction d'accès, mais seulement 34 % le suivi d'achèvement. 15 des 22 fonctionnalités standards de Moodle ne sont pas bien connues par au moins 50 % des répondants. Le *forum* est largement préféré au *chat* pour les activités de communication. Pour mettre en œuvre des exercices, le *devoir* (47 %) et le *test* (37 %) sont préférés à *Hot Potatoes* (15 %) ou à la *leçon* (19 %). Le *wiki* est l'outil collaboratif le plus utilisé (23 %) (*journal* 8 %, *atelier* 8 %).

3.2. Analyse des entretiens

Parmi les répondants ayant accepté de participer à un entretien complémentaire (téléphonique ou par visioconférence) à l'enquête, nous avons sélectionné 20 personnes en fonction de leur expertise quant à la scénarisation pédagogique et à l'utilisation de Moodle.

Les personnes interrogées validaient la pertinence de Moodle pour des besoins pédagogiques simples, mais reconnaissaient que, pour des situations d'apprentissage plus complexes, l'activité de conception devenait chronophage. Les écrans de paramétrage leur paraissaient complexes et difficiles à manipuler, notamment à cause d'un mélange entre paramètres d'ordre pédagogique et d'autres purement techniques. Il leur était nécessaire de tester des combinaisons de paramètres différentes et de vérifier le résultat afin de pouvoir atteindre leur objectif.

La plupart des personnes interrogées validaient l'idée d'un éditeur de scénario externe spécifique à Moodle et l'utilisation d'un *bloc* pour importer les scénarios dans l'interface du cours (l'aspect externe permettant de concevoir des scénarios en dehors de la plateforme, hors-ligne, et l'aspect graphique permettant de mieux visualiser le scénario dans son ensemble lors de la conception). Ils ont approuvé l'approche que nous proposons, en insistant sur l'intérêt de pouvoir manipuler des exemples d'usage d'outils de Moodle dans l'éditeur. Ils ont également mis en avant le besoin d'utiliser un langage/outil de conception qui couvre différents usages pédagogiques sans devenir pour autant trop générique. Certains ont exprimé le besoin de pouvoir continuer la conception avec l'éditeur

après l'import afin d'adapter le scénario, même s'ils avaient conscience que la modification de celui-ci à la fois avec l'éditeur et directement sur Moodle risquait de poser problème.

Cette étude a également montré que les enseignants n'ont pas de pratiques complexes communes, à cause de l'hétérogénéité de leurs niveaux d'expertises et de leurs approches pédagogiques. Néanmoins, ils ont en commun de réfléchir aux outils de la plateforme qu'ils vont employer en fonction de l'usage pédagogique qu'ils visent. En effet, un grand nombre d'entre eux ont pointé le problème d'interface utilisateur de Moodle : le nombre de paramètres nécessaires à la mise en place d'une activité est trop élevé. Il leur a semblé nécessaire d'avoir une vue plus abstraite en termes d'usages pédagogiques afin de les guider dans le choix du bon outil et des bons paramètres pour mettre en place l'activité pédagogique qu'ils conçoivent.

3.3. Analyse des besoins

En ce qui concerne les besoins fonctionnels pour un outil-auteur graphique dédié à Moodle, les enseignants ont évoqué le besoin de ne pas être contraints dans leur méthode de scénarisation : une approche *top-down*, de la spécification vers l'implémentation, ne doit pas être imposée. Ainsi, ils souhaitent pouvoir **mixer les concepts de spécification** (des briques pédagogiques abstraites) et ceux **d'implémentation** (les briques de base issues du métier de la plateforme comme les outils, ressources, etc.). Un autre besoin identifié était de pouvoir visualiser une implémentation possible (traduite dans le métier de conception de Moodle) d'une brique pédagogique sans avoir à la spécifier eux-mêmes (**implémentation par défaut**), tout en ayant la possibilité de la modifier manuellement (**adaptation de l'implémentation**). Cette approche de conception devrait aider les concepteurs à s'approprier les concepts pédagogiques et à maîtriser leurs traductions en éléments de la plateforme.

Un autre point soulevé concernait la possibilité de déclarer dans le scénario des informations qui n'ont pas d'implémentation directe sur la plateforme ou qui ne seront pas visibles par les étudiants : indications pour une session en présentiel, précisions sur des objectifs pédagogiques, informations sur les étudiants, précisions sur les activités durant le déroulement de la session d'apprentissage, etc. Enfin, un besoin de conception que nous avons identifié est celui de pouvoir séquencer les activités au sein de **structures avancées** (séquences, activités au choix,

etc.) pour lesquelles le contenu ne serait dévoilé qu'après la réalisation de l'activité précédente. Cette possibilité est offerte par Moodle dans sa version actuelle, mais nécessite un travail de paramétrage assez complexe (suivi d'achèvement et restriction d'accès) que les enseignants apprécieraient de ne pas avoir à faire manuellement.

4. Abstraction du méta-modèle de scénarisation

Nous avons étudié comment abstraire le métier de conception pédagogique d'un LMS sous deux angles : l'un théorique, applicable à différents LMS, l'autre pratique, centré sur Moodle. Nous avons suivi une approche *bottom-up* en nous concentrant d'abord sur notre cas d'étude : Moodle. A partir des besoins des enseignants-concepteurs présentés précédemment, une abstraction possible est de s'appuyer sur des usages récurrents de fonctionnalités de la plateforme pour une activité pédagogique donnée. Du point de vue de la théorie de l'activité (Engeström, 1987) (Benson *et al.*, 2008), les activités pédagogiques impliquent de traduire également sur la plateforme les concepts de sujet, objet, outils/artefacts, communauté, division du travail, et règles. Les résultats des enquêtes et entretiens mettant davantage en avant le besoin de faciliter le paramétrage des outils sur la plateforme, nous avons décidé de nous concentrer sur cette problématique sous l'angle de la relation *sujet* ↔ *outils/artefacts*.

Les sections suivantes décrivent ces abstractions et leur formalisation dans le cas de la plateforme Moodle. Les éléments importants constituant ce méta-modèle sont expliqués dans les sous-sections suivantes. Nous reviendrons ensuite sur la vue générale en 4 niveaux du méta-modèle.

4.1. L'activité pédagogique comme abstraction des outils

Nous définissons une activité pédagogique comme *une abstraction du paramétrage d'un outil de la plateforme dans le cadre d'un usage pédagogique spécifique*. A l'aide d'un seul « outil », par exemple un forum, il est possible de concevoir plusieurs usages pédagogiques, qui dépendent de la configuration de l'outil : forum de nouvelles aux étudiants, mise en place de groupes, activité de revue par les pairs, etc.

Du fait de la multiplicité des outils disponibles pour un même usage, il est nécessaire de trouver des critères discriminants qui permettent d'identifier l'implémentation la plus adéquate pour une activité pédagogique. L'instanciation d'une activité pédagogique nécessite de renseigner un nom, une description (textuelle) et l'ensemble des critères au moment de

la conception du scénario. Ces derniers seront utiles à l'identification de l'implémentation par défaut. Par exemple, une activité de type échange entre étudiants pourrait être implémentée à l'aide d'un chat ou d'un forum, le choix dépendant du caractère synchrone/asynchrone de la communication envisagée.

4.2. Structures d'activités

Selon (Gedera et Williams, 2013), la mise en place d'un cours en ligne nécessite un séquençement minutieux des activités, intégrant différents types de structures lors de la conception. Afin d'aider les enseignants-concepteurs à mettre en place des combinaisons d'activités et de ressources complexes, nous proposons d'ajouter des éléments structurels, habituels dans les VIDL (séquence, sélection, etc.). Ces structures peuvent être composées d'activités ou d'autres structures. Dans le cas de Moodle ces structures se traduiront par une combinaison d'*étiquettes*, indiquant son nom et son type, et d'indentation du contenu de la structure. Au moment de l'export, les paramètres des éléments contenus liés au suivi d'achèvement, à la restriction d'accès, à la visibilité, etc. seront fixés en fonction du type de structure. Les correspondances (spécification vers implémentation) de ces éléments sont fixées et non adaptables. Bien que celles-ci soient discutables, car issues de notre expertise de Moodle, l'intérêt est davantage porté sur la manière dont nous formaliserons et exploiterons ces correspondances dans la conception de l'éditeur final plutôt que sur leur pertinence objective.

4.3. Retour sur la résolution des verrous de remise en conformité

Les modèles produits (scénarios) par l'éditeur doivent être conformes au méta-modèle initial de la plateforme pour pouvoir être importés via l'API que nous avons développée. Nous proposons de restaurer cette compatibilité à l'aide de deux phases de transformation de modèles. La première est exécutée durant l'utilisation de l'éditeur à une granularité fine: elle propose à l'utilisateur des correspondances pour les activités pédagogiques en termes de fonctionnalités de la plateforme. La seconde transformation agit comme un système d'export, dans une phase post-conception du scénario. Elle permet la production d'un modèle parfaitement conforme au méta-modèle de la plateforme. Tous les éléments du méta-modèle du VIDL qui ne sont pas des activités pédagogiques sont concernés par cette traduction. Les correspondances seront donc prises en compte dès l'identification et l'ajout de ces éléments, de manière similaire

aux correspondances évoquées dans la section précédente pour les structures d'activités. Le propos de cette communication concerne davantage l'identification, la formalisation et l'exploitation des correspondances des activités pédagogiques. Les autres correspondances seront toutefois évoquées, ainsi que leur mise en œuvre technique (cf. section sur l'éditeur).

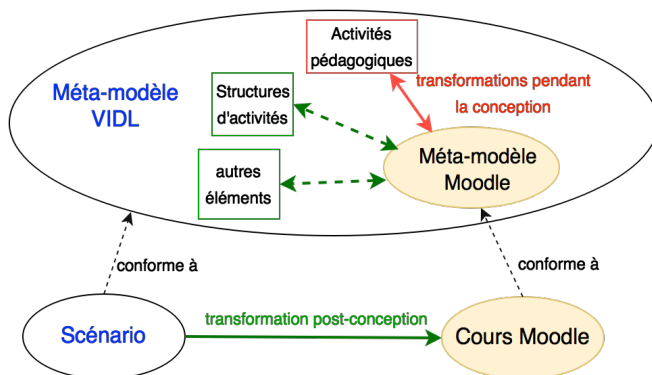


Figure 2 • Les deux types de transformations

La section suivante présente le méta-modèle du VIDL que nous proposons pour Moodle.

4.4. Une syntaxe abstraite à quatre niveaux

La syntaxe abstraite que nous proposons pour le langage de scénarisation centré sur Moodle est composée de quatre niveaux.

La figure 3 illustre notre proposition à l'aide d'une représentation graphique du modèle *Ecore* du domaine (le format utilisé par *Eclipse Modeling Framework* pour les méta-modèles).

Le niveau 1 correspond au méta-modèle de Moodle. Les éléments de niveau 1, limités aux *outils* Moodle, peuvent être directement instanciés dans le scénario par le concepteur qui devra ensuite remplir les paramètres associés (**utilisation partielle directe**). Ce niveau comprend également les concepts de *cours* et de *sections*, *groupes/groupements*, *objectifs*, indispensables à l'opérationnalisation du scénario. La transformation post-conception (lors de l'export du scénario) prendra en charge la création et l'ordonnancement de ces éléments Moodle afin de produire un scénario cohérent et compatible avec l'API que nous avons développée (**génération complète indirecte**).

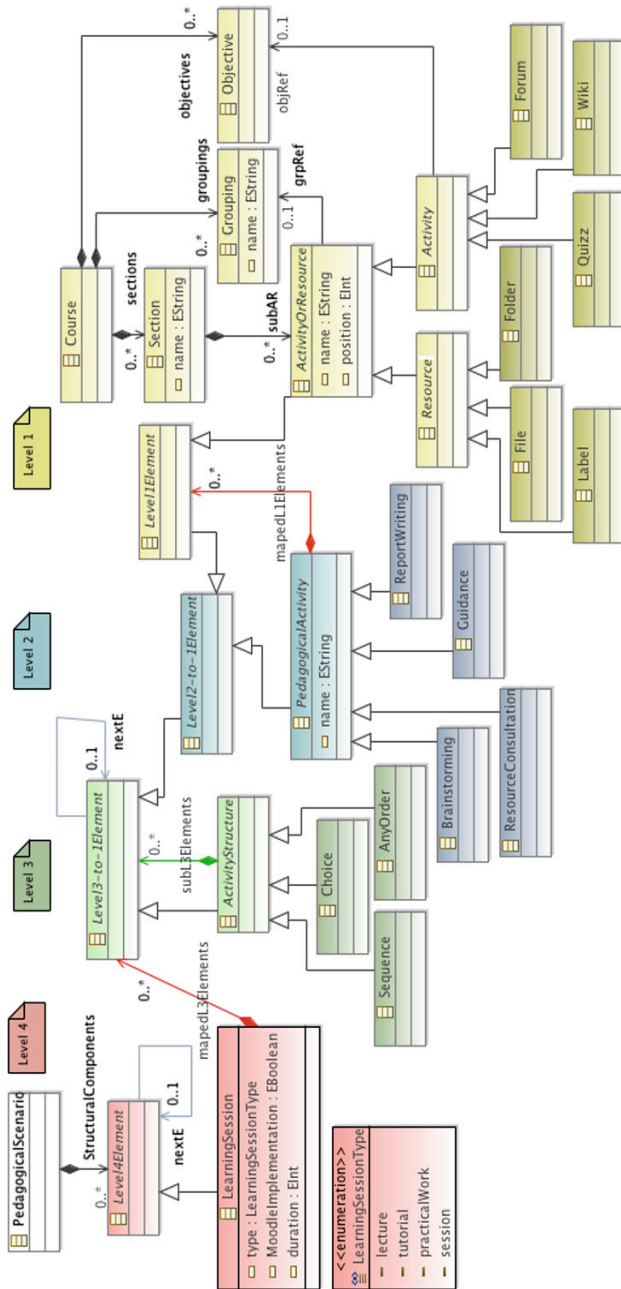


Figure 3 • Syntaxe abstraite (partielle) du langage de scénarisation intégrant le méta-modèle de Moodle

**Esteban LOISEAU, Pierre LAFORCADE,
Nour EL MAWAS, Sébastien IKSAL**

Le niveau 2 comprend les briques abstraites du langage : les activités pédagogiques. Elles sont composées d'éléments de niveau 1 (outils et ressources de Moodle) qui seront dynamiquement déduits, instanciés et ajoutés pendant l'utilisation de l'éditeur. La figure 3 illustre seulement quelques exemples pour ces activités. La version complète du méta-modèle contient l'ensemble des activités pédagogiques que nous avons identifiées (*cf.* section suivante) et leurs propriétés pédagogiques discriminantes.

Le niveau 3 propose les structures d'activités (séquence, au choix, etc.), qui sont reliées aux éléments de niveau 2 ou 1 afin que les concepteurs puissent pendant la scénarisation regrouper sans distinction activités pédagogiques et outils Moodle.

Enfin, le niveau 4 est d'ordre organisationnel et correspond au découpage global de la session d'apprentissage en *sessions* plus fines de natures diverses. Ces *sessions* contiennent les éléments des niveaux 1 à 3. Elles se traduiront en *sections* dans Moodle, qui est le seul concept qui permette la structuration. Néanmoins, la fonctionnalité d'indentation du contenu dans Moodle (la position horizontale des éléments) sera exploitée pour représenter visuellement la notion de contenance entre les éléments de niveaux 4 et les autres niveaux, ainsi qu'entre les structures d'activités et leurs contenus (éléments de niveau 3 composés d'éléments de niveaux 1 et 2). Ces correspondances seront réalisées lors de l'export du scénario afin de positionner tous les éléments du scénario, quel que soit leur niveau, en éléments inter-reliés conformes à l'unique niveau 1 (celui précisant comment implémenter des scénarios spécifiques, les espaces-cours de Moodle).

Les méta-classes en fin d'arbre d'héritage (sur le diagramme de la figure 3), sont des exemples d'éléments de chacun des niveaux ; leurs attributs ne sont pas représentés ici, mais chacun possède des propriétés.

Concrètement, dans l'éditeur, l'utilisateur aura accès dans un premier temps aux éléments de niveau 4 dans la palette d'outil. Ces éléments, équivalents aux sections de Moodle, sont indispensables à la structure du cours. Il est également possible d'intégrer des sessions qui ne reposent pas sur le LMS, spécifiables à l'aide d'un attribut booléen *opérationnalisable*, afin de pouvoir représenter un cours complet au sein du scénario. Lorsque l'utilisateur double-cliquera sur un élément de niveau 4 opérationnalisable, un sous-diagramme s'ouvrira, permettant alors d'ajouter des éléments des niveaux 1 à 3 disponibles dans la palette. Ainsi, le concepteur

a toute liberté de choisir son approche et le niveau de description désiré lors de la sélection des différents éléments. A l'exception des structures, tous les autres éléments des niveaux 2 et 3 ouvriront un sous-diagramme présentant une implémentation par défaut correspondant à l'élément parent et à son paramétrage. Cette implémentation peut alors être modifiée librement.

Les 4 niveaux présentés dans le diagramme représentent donc les 4 niveaux d'éléments proposés inter-reliés par 3 relations de « contenance » possibles (spécifiées par des relations de composition dans la figure 3). Le niveau des sessions peut contenir des éléments issus des 3 autres niveaux, le niveau des structures d'activités peut contenir également des éléments des niveaux 1 à 3 (une structure d'activité peut contenir d'autres structures d'activités). Le niveau des activités pédagogiques contient les éléments de niveau 1 traduisant la correspondance associée au paramétrage actuel des activités pédagogiques. Nous proposons pour les spécifications de l'éditeur graphique (cela reste discutable) :

- (1) qu'il y ait un diagramme pour spécifier les éléments de niveau 4 (les sessions),
- (2) que chaque session puisse avoir un diagramme dans lequel seront spécifiés, à la convenance du concepteur, les structures activités, les activités pédagogiques, et les outils Moodle,
- (3) que chaque activité pédagogique puisse être « ouverte » pour visualiser un diagramme spécifiant, en termes d'éléments de Moodle, la correspondance (modifiable) qui est réalisée dynamiquement pendant la scénarisation.

Le méta-modèle que nous avons présenté décrit la structure d'imbrication de nos 4 niveaux. Pour autant, les correspondances des éléments de niveaux 4 (sessions) et 3 (structures d'activités) ne sont pas capturées dans ce méta-modèle. Ces spécifications ont été directement formalisées et mises en œuvre sous la forme d'un modèle de transformation à l'aide du framework ATL (*ATLAS Transformation Language*) (Jouault *et al.*, 2006), elles ne sont pas davantage présentées dans cet article. En revanche, les correspondances entre activités pédagogiques et implémentation Moodle ne sont pas triviales à identifier et capturer.

5. Un concept central : l'activité pédagogique

5.1. Identification des activités pédagogiques et de leurs correspondances

Afin d'identifier les outils les plus appropriés à l'implémentation d'une activité pédagogique, nous avons suivi une méthode en trois étapes :

- analyse, pour chacun des outils proposés par Moodle, de ses usages récurrents (méthode *bottom-up*) ;
- identification d'outils permettant des usages identiques (*top-down*) ;
- spécification des critères discriminants permettant la sélection de l'outil le plus adéquat.

Moodle, dans sa version 2.4, propose 7 types de ressources (*Livre, Page, Étiquette, Paquetage IMS, Fichier, Dossier et URL*) et 13 activités (*Forum, Base de données, Glossaire, Devoir, Leçon, Test, Atelier, Paquetage SCORM, Outil externe, Sondage, Consultation, Wiki et Feedback*). Après avoir étudié les usages récurrents de chacun de ces outils, nous avons remarqué que certains d'entre eux pouvaient avoir des usages détournés. Par exemple, un *forum* peut être utilisé pour discuter autour d'une thématique, mais peut également servir de Foire Aux Questions (FAQ), ou permettre aux étudiants de partager des fichiers. Dans un second temps, nous avons identifié quels outils avaient des usages en commun, par exemple, pour une FAQ il est possible d'utiliser un *forum*, un *wiki*, ou un *glossaire*.

Nous avons pu alors définir des critères discriminants afin d'aider l'enseignant à décider quel outil utiliser lorsque le choix se présente. Il est possible de représenter ces critères dans une matrice de décision qui se construit selon les règles suivantes :

- **R1.** Le nom de l'activité pédagogique est formulé du point de vue de l'étudiant (sauf si l'activité leur est invisible, et dans ce cas c'est le point de vue de l'enseignant qui est pris), exemple : « Répondre à un sondage » plutôt que « Créer un sondage ».
- **R2.** Les outils permettant de mettre en œuvre l'activité pédagogique considérée sont représentés sur les colonnes.
- **R3.** Les critères discriminants sont représentés sur les lignes.
- **R4.** Les critères discriminants doivent exprimer, le plus possible, une caractéristique pédagogique et doivent être formulés comme des questions fermées (oui/non).

- **R5.** Les cellules à l'intersection d'un outil et d'un critère doivent contenir toutes les valeurs possibles de critères qui permettent de choisir cet outil.
- **R6.** Un critère discriminant doit permettre de discriminer au moins un outil.
- **R7.** La matrice est complète s'il n'y a pas de combinaisons de critères parfaitement identiques menant à deux outils.

Une matrice incomplète nécessite d'ajouter des critères supplémentaires, jusqu'à satisfaire la règle **R7**. Le tableau 1 présente un exemple pour l'activité « Répondre à un sondage », pour laquelle quatre outils sont disponibles : *test* (O1), *sondage* (O2), *feedback* (O3) et *consultation* (O4). Nous proposons 7 critères discriminants :

- (C1) Il y a-t-il plusieurs questions ?
- (C2) Il y a-t-il uniquement des questions à choix multiples ?
- (C3) Voulez vous utiliser des questionnaires prédéfinis ?
- (C4) Est-ce en temps limité ?
- (C5) Est-ce anonyme ?
- (C6) Est-ce noté ?
- (C7) Il y a-t-il un feedback après la validation du sondage ?

Tableau 1 • Exemple de matrice de décision

AP	O1	O2	O3	O4
C1	Oui/Non	Non	Oui/Non	Oui
C2	Oui/Non	Non	Oui/Non	Oui
C3	Non	Non	Non	Oui
C4	Oui/Non	Non	Non	Non
C5	Non	Non	Oui/Non	Non
C6	Oui	Non	Non	Non
C7	Oui	Non	Oui	Non
	<i>Paramètres O1</i>	<i>Paramètres O2</i>	<i>Paramètres O3</i>	<i>Paramètres O4</i>

Selon la matrice du tableau 1, l'outil *consultation* (O4) par exemple, permet de sonder sur plusieurs questions, proposant des choix multiples et des questionnaires prédéfinis. Pour cet outil, il n'est pas possible d'imposer une limite de temps pour répondre, ni d'anonymiser les réponses ou de les noter. On ne peut pas non plus donner de feedback à l'apprenant.

Cette matrice doit également être complétée par des informations sur les paramètres de l'outil sélectionné, qu'ils soient généraux (peu importe les valeurs des critères), ou contextuels (la valeur du paramètre dépend

d'une réponse à un des critères). Ces précisions optionnelles sont importantes pour encapsuler, dans les correspondances, l'implémentation Moodle détaillée de l'activité pédagogique considérée.

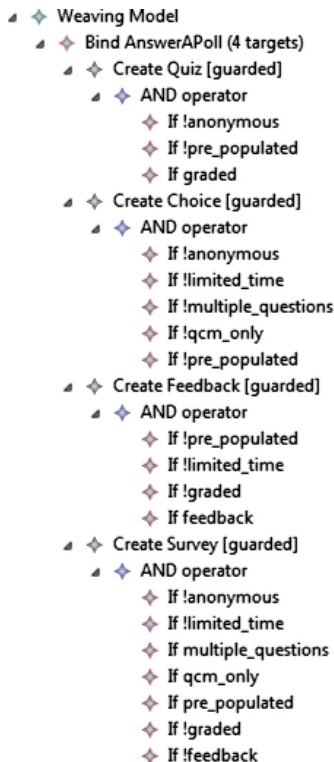


Figure 4 • Exemple de modèle de tissage

5.2. Formalisation des correspondances par tissage de modèles

Conformément à notre approche dirigée par les modèles, nous exploitons les transformations de modèles pour mettre en œuvre le mécanisme d'implémentation par défaut. Ces transformations sont exécutées à la demande, durant le processus de modélisation du scénario lorsque le concepteur double-clique sur une activité pédagogique qu'il a paramétrée. Cela permet d'ajouter automatiquement au scénario des éléments d'implémentation (niveau 1) qui seront représentés graphiquement dans un sous-diagramme. Ces transformations de modèles sont coûteuses à produire, en raison notamment du nombre d'éléments à

implémenter et de la complexité des règles de correspondance. Afin de pallier ce problème nous proposons d'utiliser le tissage de modèles, présenté dans (Loiseau *et al.*, 2014), afin de formaliser les règles de correspondances à l'aide d'un modèle de tissage et de générer le code source des transformations de modèles. D'un point de vue pratique, à l'aide de la matrice construite par un expert de la plateforme telle que présentée dans la section 5.1, un ingénieur modélise les règles de correspondances entre une activité pédagogique et des outils de la plateforme afin de produire un modèle de tissage. Il utilise ensuite une transformation de haut niveau (une transformation de modèle spécifique) afin de générer le code des transformations de modèle permettant effectivement d'opérer les correspondances. Ces dernières peuvent alors être intégrées à l'éditeur et s'exécuteront à la demande, pendant l'utilisation de l'éditeur par l'enseignant-concepteur.

Le modèle de tissage peut être spécifié à l'aide d'un langage de tissage utilisant un méta-modèle de tissage générique que nous proposons. Ce méta-modèle de tissage définit la syntaxe du modèle de tissage (de correspondances). Chaque correspondance (ou *binding*) référence un élément **source** (l'activité pédagogique) et un ou plusieurs éléments **cibles** (l'outil) tous issus du méta-modèle du langage de scénarisation. Il est possible de poser des conditions sur « l'instanciation » d'une cible et de donner des valeurs à ses attributs (également avec des conditions). La figure 4 présente un exemple de modèle de tissage issu de la matrice de décision du tableau 1. Ce modèle définit les valeurs des critères pour lesquelles un outil Moodle doit être instancié en les combinant avec des opérateurs ET/OU/NON. Les informations sur les paramètres des outils doivent être déduits des indications données par l'expert (non représentés sur la figure 4).

Nous exploitons les outils et langages du projet Epsilon (Paige *et al.*, 2009) afin de construire un *framework* de tissage de modèles correspondant à nos besoins. Nous utilisons le format *Ecore*, comme précédemment pour formaliser les méta-modèles. Les modèles de tissage sont édités à l'aide de *Modelink*, un éditeur de modèles à trois panneaux qui permet de présenter les méta-modèles nécessaires au tissage sur les côtés gauche et droit, tandis que le modèle de tissage sera spécifié au centre. Les transformations de modèles exécutées pendant l'utilisation de l'éditeur afin de réaliser les correspondances sont exprimées à l'aide de l'*Epsilon Object Language* (EOL) et sont générées par une transformation *Model to Text*,

**Esteban LOISEAU, Pierre LAFORCADE,
Nour EL MAWAS, Sébastien IKSAL**

faisant office de transformation de haut niveau, à l'aide du langage *Epsilon Generation Language* (EGL).

Notre approche de spécification des correspondances exploite pour le moment l'outillage technique de l'IDM. Cette proposition technique montre que le codage des correspondances n'est plus nécessaire: leur formalisation peut être réalisée sous la forme d'un modèle simple spécifié en se basant sur les données décrites dans les matrices d'identification précédemment exposées. Il serait donc envisageable prochainement de déduire automatiquement ces modèles sur la base d'un éditeur dédié réifiant la sémantique des matrices d'identification.

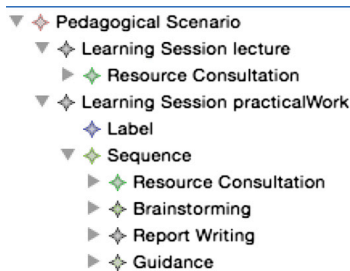


Figure 5 • Exemple de scénario pédagogique composé d'éléments des quatre niveaux

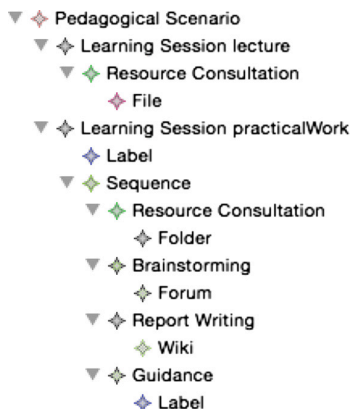


Figure 6 • Exemple de scénario pédagogique intégrant les implémentations automatiques

6. Exemple de scénario pédagogique

Nous proposons d'illustrer notre approche en formalisant un scénario pédagogique simple, mais représentatif, visant le LMS Moodle. Nous présentons dans un premier temps une description textuelle du scénario puis illustrons sa formalisation à l'aide du méta-modèle présenté dans la section 4. La figure 5 est une capture d'écran du scénario exemple, ouvert dans un éditeur en arbre EMF (il ne s'agit pas de l'éditeur graphique final, mais d'un éditeur de base permettant de spécifier des modèles conformes, par construction, avec leur méta-modèle).

6.1. Description et formalisation

Le scénario exemple est composé de deux sessions d'apprentissage. La première est un *cours magistral* pour lequel l'enseignant souhaite donner accès aux ressources utilisées en présentiel (*Resource consultation*). Cette activité pédagogique possède un attribut *quantity* valant *one* et un attribut *location* valant *local* (une seule ressource qui sera disponible directement sur le LMS). Ces propriétés permettront au mécanisme d'**implémentation par défaut** de sélectionner l'outil *File* (fichier) et de l'ajouter au scénario (voir la figure 6).

La seconde session d'apprentissage est de type *travaux pratiques* et se déroulera en présentiel dans une salle équipée d'ordinateurs. L'enseignant souhaite utiliser Moodle pour supporter une séquence d'activités comprenant quatre éléments. Le premier est une autre activité *Resource consultation*, dont les attributs *quantity* et *location* valent respectivement *many* et *local*. L'implémentation choisie cette fois est le dossier (*folder*). Le second élément de cette séquence est une activité de *brainstorming* qui, selon son attribut *orientation*, sera implémentée à l'aide d'un forum. De façon similaire, l'activité suivante (*Report Writing*) exploitera un wiki à cause de la dimension *collaborative*. Le dernier composant de cette séquence, *Guidance*, permet à l'enseignant de créer un mémo lui rappelant d'évaluer les productions des étudiants. Selon sa propriété *public* valant *tutor*, il se traduira sur Moodle en une *étiquette (Label)* ayant la propriété *visible* à faux, de manière à n'être visible que par l'enseignant.

La figure 6 présente le scénario une fois les implémentations de chacune des activités pédagogiques ajoutées automatiquement. Cette représentation en arbre permet de bien illustrer la hiérarchie de « nœuds » du modèle :

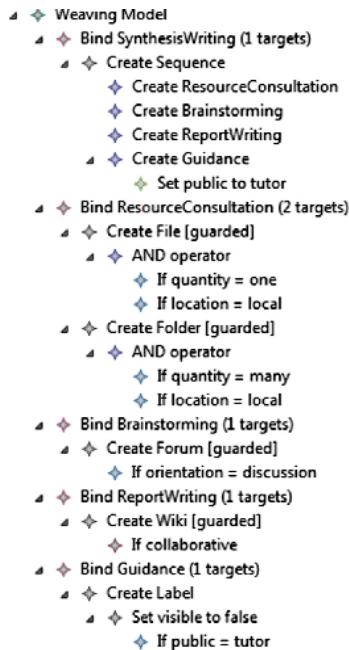


Figure 7 • Exemple de modèle de tissage spécifiant les correspondances des activités pédagogiques impliquées dans l'exemple de scénario

- le scénario est la racine, il est composé de sessions ;
- les sessions contiennent soit des activités pédagogiques (comme *resource consultation*), soit des structures d'activités (comme *sequence*), soit directement un outil Moodle (comme le premier *Label visible*) ;
- les structures d'activités peuvent à nouveau être composées de ces 3 types d'éléments (1 seul visible dans l'exemple) ;
- les activités pédagogiques sont composées d'outils Moodle (comme *File* sous *Resource Consultation*).

La figure 7 présente un modèle de tissage spécifiant les correspondances des 5 activités pédagogiques impliquées dans l'exemple du scénario.

6.2. Prototype d'éditeur de scénarios réifiant les propositions

Nous avons développé un prototype d'éditeur de scénarios. Il réifie notre proposition de langage et intègre la mise en œuvre des correspon-

dances (celles au *runtime*, pour visualiser les implémentations Moodle des activités pédagogiques, et celles à l'export du scénario, pour restaurer sa conformité avec Moodle). Ce prototype nous permettra de vérifier la spécification d'un scénario en conformité avec les besoins identifiés par le travail exploratoire (enquête et entretiens) et la bonne exécution des différentes transformations de modèles.

Pour mettre en œuvre l'éditeur nous avons tout d'abord spécifié une notation graphique (syntaxe concrète au sens DSM) sur la base du méta-modèle de scénarisation présenté dans la section 4. Cette notation décrit les représentations graphiques souhaitées pour les éléments du méta-modèle (concepts, propriétés et relations). Nous avons pour cela utilisé l'outillage DSM du projet Sirius (Sirius, 2016) qui permet de créer des éditeurs de modèles de façon plus rapide et demandant moins de compétences techniques qu'avec d'autres outillages comme GMF (*Graphical Modeling Framework*) (Eclipse Modeling Project, 2016), traditionnellement utilisé pour ce type de besoin. La syntaxe concrète est définie dans Sirius à l'aide d'un seul modèle (*Viewpoint Specification Model*) qui sera ensuite « interprété » à l'exécution par un plugin Eclipse dédié. Cette méthode sans génération de code permet de réduire significativement les coûts de développement d'un éditeur graphique et favorise le prototypage.

Plusieurs diagrammes peuvent être spécifiés et articulés ensemble (support pour des *langages en couches*). Un élément de modèle peut avoir plusieurs représentations visuelles dans un même diagramme (support pour des représentations *multiples*). Sirius prend en charge également la spécification *des palettes d'outils* présentant, à côté d'un diagramme, les éléments de modélisation disponibles, des menus contextuels, des actions réalisables sur les éléments de modèle, etc. Sirius propose un mécanisme pour appeler un service externe : nous l'avons exploité afin d'intégrer à l'éditeur les transformations de modèle nécessaires aux mécanismes **d'implémentation par défaut** et de **remise en conformité finale**.

Cette notation graphique n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie, au sens des préconisations d'étude de (Moody, 2009). Elle vise simplement à permettre de distinguer les éléments composant les diagrammes (couleurs, formes, emboitements). Elle reste subjective et discutable. Nous présentons ci-après cette notation à travers les 3 types de diagrammes que nous proposons.

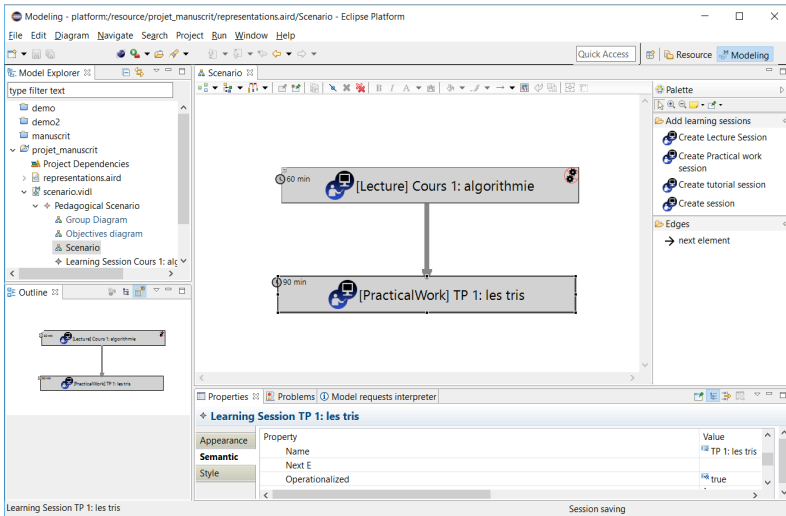


Figure 8 • Capture d'écran d'un diagramme de sessions d'apprentissage

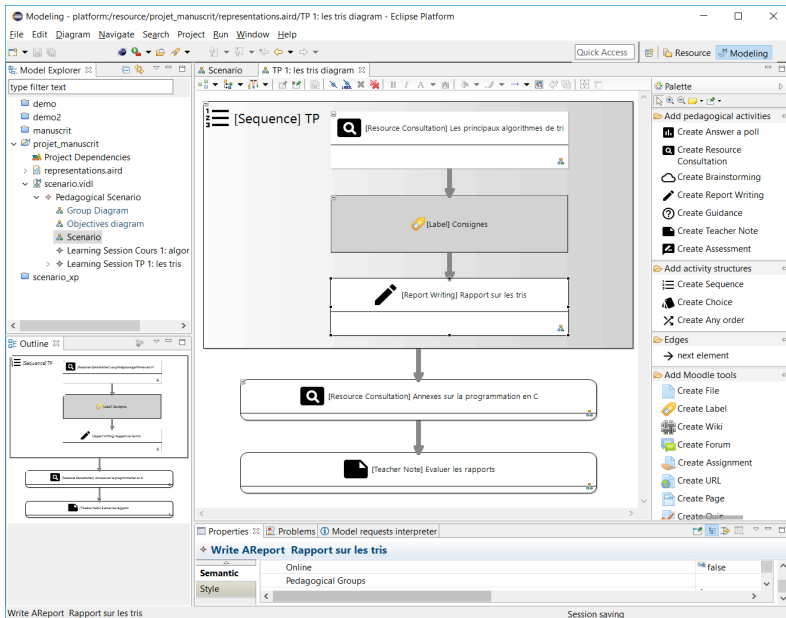


Figure 9 • Capture d'écran d'un diagramme d'activités précisant les activités pédagogiques et les structures d'activités pour une session donnée

Le premier diagramme est celui des *sessions d'apprentissage* (figure 8). Il permet de spécifier un premier niveau de découpage du scénario nécessaire, étant donné que chaque session correspondra à une *Section* dans l'espace-cours de Moodle. Lorsque l'utilisateur double-clique sur l'une des sessions d'apprentissage de ce diagramme, un nouveau diagramme des *activités s'ouvre*, dans lequel il est possible d'ajouter des éléments des niveaux 1 à 3 du méta-modèle (figure 9) afin de spécifier les activités à réaliser pour la session concernée. À ce niveau, il est possible de fixer les propriétés des éléments de niveau 2 (les activités pédagogiques). Lorsque l'utilisateur double-clique à nouveau sur l'un de ces éléments, l'exécution des transformations de modèles applicables à cet élément est réalisée, ajoutant au nouveau diagramme l'implémentation par défaut qui convient. Ce dernier diagramme *d'implémentation* (figure 10) contient donc des éléments de niveau 1 (outils de Moodle) qui peuvent être modifiés, supprimés ou bien complétés par d'autres éléments du même niveau.

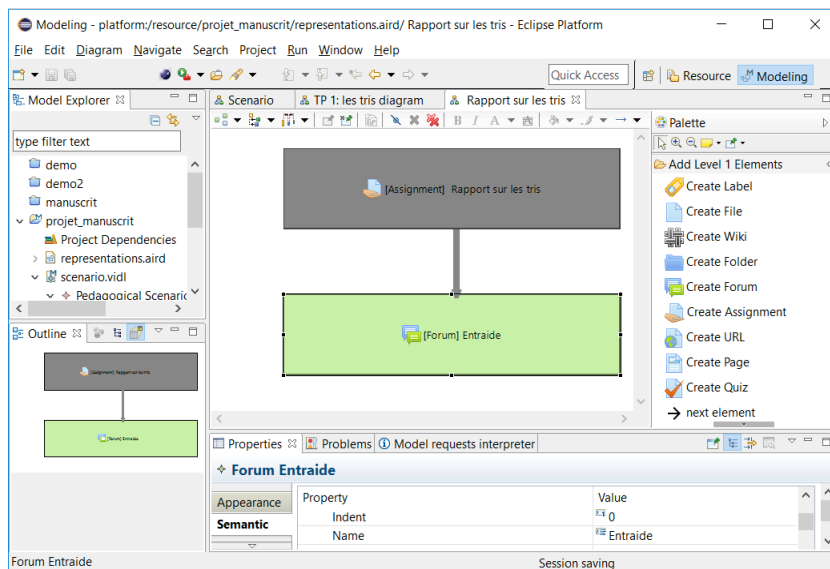


Figure 10 • Capture d'écran d'un diagramme d'implémentation (le contenu d'une activité pédagogique)

7. Conclusion

7.1. Abstraction des usages d'outils de la plateforme

Nous proposons une approche centrée plateforme spécifique à un LMS afin d'augmenter l'expressivité pédagogique du métier de scénarisation, à niveau opérationnalisation de ces plateformes. Nous avons montré comment il était possible d'abstraire les usages de fonctionnalités (outils) de la plateforme, associés à leur paramétrage, afin de proposer des briques de conception de plus haut niveau appelées « activités pédagogiques ». Nous avons également proposé une méthode permettant aux experts de la plateforme de spécifier les correspondances entre activités pédagogiques et outils du LMS. Nous proposons une solution outillée de tissage de modèles afin de formaliser ces correspondances. Les modèles de tissages spécifiés par les experts peuvent alors être traités par une transformation de haut niveau qui produira un ensemble de transformations de modèles qui sont ensuite intégrées à un éditeur et seront exécutées pendant la phase de conception du scénario pédagogique. Nous avons présenté et illustré la syntaxe abstraite à 4 niveaux d'un langage de scénarisation pédagogique spécifique à Moodle. Enfin, nous avons présenté un prototype d'éditeur permettant de spécifier des scénarios à travers 3 types de diagrammes (sessions, activités et implémentation).

L'ensemble de nos propositions (le langage de scénarisation, le prototype d'outil-auteur le réifiant, les différentes techniques d'identification, de formalisation et de mise en œuvre techniques par transformations) ont permis de valider, par construction, notre approche générale de conception d'un VIDL centré plateformes de formation. Les résultats obtenus ne sont qu'*une* forme d'abstraction possible. Bien que la syntaxe abstraite de notre VIDL ait été élaborée en prenant en compte des besoins spécifiques identifiés à travers des enquêtes et entretiens, d'autres approches d'abstraction répondant à d'autres besoins peuvent être envisagées. Le résultat principal de ces recherches est qu'il est possible d'élaborer des langages de scénarisation dirigés vers des besoins spécifiques issus de communautés de praticiens pour une plateforme de formation donnée, à condition de contrôler (identifier, formaliser et manipuler) les correspondances entre *éléments de spécification* et *éléments d'implémentation*. La subjectivité de ces correspondances peut être appréhendée en permettant l'adaptation des correspondances par défaut.

7.2. Evaluation des propositions

Afin de valider globalement la proposition, nous avons réalisé une *vérification* sous la forme de mises à l'essai (processus interne) de l'outillage proposé. L'objectif était de spécifier différents scénarios de manière à vérifier les différents besoins initiaux : mixer éléments de spécification et éléments d'opérationnalisation Moodle, proposer une implémentation par défaut des activités pédagogiques selon le renseignement des critères pédagogiques, permettre la modification des implémentations proposées au *runtime*, vérifier la remise en conformité lors de l'export final du scénario, etc.

Une *validation* impliquant l'intervention de participants externes au projet (processus externe) aura prochainement lieu. L'objectif de cette validation ne sera pas de valider ou d'invalider les besoins et exigences initiales : il n'est pas envisageable de faire intervenir à nouveau des personnes ayant déjà participé à l'enquête ou aux entretiens. L'objectif consistera plutôt à s'assurer que l'environnement outillé que nous proposons répond correctement, selon le point de vue d'enseignants-concepteurs, aux besoins et exigences initiaux. Bien que l'API développée pour Moodle (dans le cadre global du projet GraphiT) n'entre pas directement dans le périmètre des travaux présentés, il nous paraît nécessaire de l'exploiter afin de montrer aux participants que le fichier obtenu par le service d'export, à la fin de leur activité de scénarisation avec l'éditeur graphique, spécifie bien le contenu d'un espace-cours Moodle correspondant à leur scénario.

L'expérimentation consistera à demander à plusieurs enseignants-concepteurs de spécifier un scénario, donné initialement sous une forme textuelle, à l'aide de notre éditeur graphique, pendant une durée maximale commune prédéterminée. Chaque participant devra alors proposer une scénarisation pédagogique subjective, mais cadrée de manière à assurer qu'il ait la possibilité d'utiliser les principaux concepts, propriétés et relations de notre VIDL, ainsi que les fonctionnalités principales de l'éditeur (i.e. celles répondant à une exigence fonctionnelle identifiée). L'utilisation post-scénarisation, par nos soins, de la fonctionnalité d'export puis de l'utilisation de l'API d'import développée pour Moodle, nous permettra ensuite de montrer à chaque participant le résultat de sa conception pédagogique sous forme d'espace-cours équivalent. Ceci nous permettra alors de recueillir auprès des participants leurs opinions (adéquation entre les intentions initiales implicites dans leur

scénario et la correspondance Moodle). Pour collecter ces données *qualitatives* nous pourrions utiliser, dans un premier temps, un questionnaire individuel, puis dans un second temps, proposer aux participants d'échanger à l'occasion d'une discussion collective guidée par nos soins, en exploitant le fil conducteur du questionnaire.

BIBLIOGRAPHIE

ABDALLAH, F., TOFFOLON, C. et WARIN, B. (2008). Models transformation to implement a project-based collaborative learning (PBCL) scenario: Moodle case study. Dans P. Díaz, Kinshuk, I. Aedo et E. Mora (dir.), *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (p. 639-643). Santander, Espagne : IEEE Computer Society.

ABEDMOULEH, A., OUBAHSSI, L., LAFORCADE, P. et CHOQUET, C. (2008). An analysis process for identifying and formalizing LMS instructional language. Dans S. Hammoudi, M. van Sinderen et J. Cordeiro (dir.), *Proceedings of the 7th International Conference on Software Paradigm Trends* (p. 218-223). Rome, Italie : ScitePress.

ALARIO-HOYOS, C., MUNOZ-CRISTOBAL, J.A., PRIETO-SANTOS, L.P., BOTE-LORENZO, M.L., ASENSIO-PEREZ, J.I., GOMEZ-SANCHEZ, E., VEGA-GORGOJO, G. et DIMITRIADIS, Y. (2012). GLUE! - GLUE!-PS: An approach to deploy non-trivial collaborative learning situations that require the integration of external tools in VLEs. Dans S. Retalis et M. Dougiamas (dir.), *Proceedings of the 1st Moodle Research Conference* (p. 77-85). Heraklion, Grèce : Moodle.

BENSON, A., LAWLER, C. et WHITWORTH, A. (2008). Rules, roles and tools: Activity theory and the comparative study of e-learning. *British Journal of Educational Technology*, 39, 456-467.

BERGGREN, A., BURGOS, D., FONTANA, J.M., HINKELMAN, D., HUNG, V., HURSH, A. et TIELEMANS, G. (2005). Practical and Pedagogical Issues for Teacher Adoption of IMS Learning Design Standards in Moodle LMS. *Journal of Interactive Media in Education*, 2005(1).

BOTTURI, L., DERNTL, M., BOOT, E. et FIGL, K. (2006). A classification framework for educational modeling languages in instructional design. Dans *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (p. 1216-1220). Kerkrade, Pays-Bas : IEEE Press.

BURGOS, D., TATTERSALL, C., DOUGIAMAS, M., VOGTEN, H. et KOPER, R. (2007) A First Step Mapping IMS Learning Design and Moodle. *Journal of universal computer science*, 13, 924-931.

CONOLE, G., DYKE, M., OLIVER, M. et SEALE, J. (2004). Mapping pedagogy and tools for effective learning design. *Computers & Education*, 43, 17-33.

DODERO, J.M., MARTINEZ DEL VAL, A.A. et TORRES, J. (2010). An extensible approach to visually editing adaptive learning activities and designs based on services. *Journal of Visual Languages & Computing* 21(6), p. 332- 346.

DOUGIAMAS, M. et TAYLOR, P. (2003). Moodle: Using Learning Communities to Create an Open Source Course Management System. Dans D. Lassner et C. McNaught (dir.), *Proceedings of ED-MEDIA 2003 - World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications* (p. 171-178). Waynesville, NC: Association for the Advancement of Computing in Education.

Eclipse Modeling Project, (2016). Site officiel du projet EMP.
<http://www.eclipse.org/modeling/>

ENGSTRÖM, Y. (1987). *Learning by Expanding: An Activity Theoretical Approach to Developmental Research*. Helsinki, Finlande : Orienta-Konsultit Oy.

GARRISSON, D.R. et KANUKA, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The Internet and Higher Education*, 7, 95-105.

JOUAULT, F., ALLILAIRE, F., BÉZIVIN, J., KURTEV, I. et VALDURIEZ, P. (2006). ATL: A QVT-like Transformation Language. Dans *Proceedings Companion to the 21st ACM SIGPLAN Conference OOPSLA'06* (p. 719-720). Portland, OR : ACM.

KATSAMANI, M., RETALIS, S., BOLOUDAKIS, M. (2012). Designing a Moodle course with the CADMOS learning design tool. *Education Media International*, 49, 317-331.

KELLY, S. et TOLVANEN, J.-P. (2008). *Domain Specific Modeling: Enabling full code generation*. Hoboken, NJ : Wiley.

LOISEAU, E. et LAFORCADE, P. (2013). Specification of learning management system-centered graphical instructional design languages - a DSM experimentation about the Moodle platform. Dans J. Cordeiro, D. Marca et M. van Sinderen (dir.), *Proceedings of the 8th International Joint Software Conference* (p. 504-511). Reykjavik, Islande : Scitepress.

LOISEAU, E., LAFORCADE, P. et IKSAL, S. (2014). Model weaving and pedagogy mapping abstraction levels in instructional design languages. Dans A. Holzinger, J. Cardoso, J. Cordeiro, M. van Sinderen et S. Mellor (dir.), *Proceedings of the 9th International Joint Software Conference* (p. 81-86). Vienne, Autriche : Scitepress.

MOODY, D. (2009). The Physics of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 35(6), 756-779. doi : 10.1109/TSE.2009.67.

ORMROD, J.E. (2011). *Human Learning*. Upper Saddle River, NJ : Pearson.

PAIGE, R.F., KOLOVO, D.S., ROSE, L.M., DRIVALORS, N. et POLACK, F.A.C. (2009). The design of a conceptual framework and technical infrastructure for model management language engineering. Dans *Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems* (p. 162-171). Postdam, Allemagne : IEEE Computer Society.

PODVIN, H. et LAFORCADE, P. (2014). *Analyse des pratiques et des besoins de conception pédagogique centrés plateformes de formation* (livrable D3-4 du projet GraphiT). Récupéré du site du projet GraphiT: http://www-lium.univ-lemans.fr/~laforcad/graphit/?page_id=166

SCHMIDT, D.C. (2006). Model-driven engineering. *IEEE Computer*, 39, 25-31.

Site officiel du projet Sirius. <https://www.eclipse.org/sirius/>



Utilisation de *Facebook* en contexte universitaire

► **Lionel MÉLOT, Albert STREBELLE,
Jérôme MAHAUDEN, Christian DEPOVER**
(Unité de Technologie de l'Éducation, Université de Mons)

■ **RÉSUMÉ** • De nos jours les médias sociaux, à l'instar de *Facebook*, sont ancrés dans le quotidien des étudiants. Ils suscitent bon nombre d'interactions humaines. C'est pourquoi il nous semble pertinent d'étudier les usages qui en sont faits ainsi que les perceptions qu'en ont les utilisateurs en milieu universitaire. Cette recherche concerne principalement les usages pédagogiques et communicationnels réalisés par des étudiants inscrits au master en sciences de l'éducation, à l'Université de Mons, dans le cadre de leur formation. Nous nous intéressons également aux groupes *Facebook* et aux activités qui y sont menées par les étudiants. Nous mettons en évidence que les apprenants confèrent à *Facebook* des avantages tels que l'accessibilité, la praticité, la rapidité et la facilité de communication. En revanche, ils soulignent des inconvénients liés à la distraction et au manque de confidentialité.

■ **MOTS-CLÉS** • *Facebook*, apprentissages, étudiants, université

■ **ABSTRACT** • Today, the social media like 'Facebook' are part of our everyday life. They create a number of human interactions. This is why it seems relevant to question their uses as well as their representations by academic users. This research mainly focuses on educational and communicational uses by University students enrolled in a master's degree in educational sciences at the University of Mons (UMons), within their degree courses. We also focus on Facebook groups and more specifically on the activities performed by the students. We highlight the fact that learners recognize benefits to Facebook such as accessibility, convenience, swiftness and ease of communication. Nevertheless, they emphasize disadvantages associated with distraction and confidentiality.

■ **KEYWORDS** • *Facebook*, learning process, students, university

1. Introduction

La force de *Facebook* réside dans sa capacité à regrouper, dans un même espace, des outils numériques qui existent par ailleurs. La réelle nouveauté est dans la mise à disposition de ces outils dans un seul espace de réseau social : un fil de nouvelles RSS, un tableau d'affichage électronique, un blogue, un courriel, un forum, une liste de diffusion, une messagerie instantanée avec partage de textes, sons et vidéos, et des podcasts (Fanelli-Isla, 2012). Connaissant le potentiel cognitif développé par ces outils (Depover *et al.*, 2007 ; Pownell, 2006 ; Temperman et De Lièvre, 2009), il est aisé de comprendre pourquoi les étudiants utilisent si volontiers ce réseau social à des fins pédagogiques et communicationnelles dans le cadre de leurs études. En effet, dans leur ouvrage, Depover, Karsenti et Komis (2007, p.94) nous rapportent l'idée de Vygotsky selon laquelle « l'apprentissage prend racine dans un contexte social ou interpersonnel avant d'être intériorisé par l'apprenant » (Vygotsky, 1978), mais aussi que des outils de communication peuvent favoriser ces interactions sociales. Grâce à *Facebook* et aux nombreux outils de communication qu'il renferme, les étudiants développent leurs compétences à communiquer et peuvent donc s'ouvrir aux savoirs et partager l'information (Kucuk et Sahin, 2013). Ce réseau social peut donc être utilisé en complément des plateformes à distance classiques, mais aussi des MOOCs comme lieu d'apprentissage collaboratif (Lampe *et al.*, 2008), car le réseautage de *Facebook* dépasse le réseau social personnel (Thivierge, 2011). Cette étude s'intéresse plus spécifiquement aux différentes utilisations du réseau social *Facebook*, comme support d'aide à l'apprentissage, par des étudiants universitaires dans le cadre de leur formation.

2. Contexte de la recherche, méthodologie et questions de recherche

2.1. Contexte de la recherche

La recherche a été menée entre le 27 février et le 8 mars 2014, auprès des étudiants inscrits au master en sciences de l'éducation à l'Université de Mons (Belgique). Parmi les 168 étudiants inscrits, 100 ont accepté de participer à notre enquête. Nous avons retenu *Facebook* comme réseau social de référence dans cette recherche car il est un des réseaux sociaux les plus populaires, quel que soit le domaine concerné (privé ou pédagogique). De fait, les données issues de notre questionnaire indiquent que 95 % des étudiants questionnés déclarent s'être inscrits spontanément sur *Facebook* et 85 % affirment l'utiliser au moins une fois par jour.

Tableau 1 • Fréquence d'utilisation des moyens de communication considérés (N=100)

	Jamais	Pas tous les jours	Au moins 1 à 2 fois par jour	Au moins 3 à 5 fois par jour	Au moins 6 à 10 fois par jour	Plus de 10 fois par jour
J'utilise Facebook	5	10	20	25	19	21
J'utilise Twitter	93	6	1	0	0	0
J'utilise LinkedIn	94	6	0	0	0	0
J'utilise les courriels	2	26	43	22	5	2

2.2. Outils

Le but principal de notre étude étant de recueillir les opinions d'un maximum d'étudiants issus de la population considérée, l'enquête par questionnaire a été privilégiée compte tenu de son caractère peu contraignant et de sa capacité à investiguer rapidement un large champ de préoccupations liées à l'utilisation des réseaux sociaux. Le questionnaire a été élaboré en trois étapes. La première se réfère à l'interview de trois étudiants de la population considérée afin de délimiter le champ de recherche et de collecter des informations à propos de leurs habitudes d'utilisation de *Facebook*. La seconde porte sur l'élaboration d'un questionnaire exploratoire réalisé sur la base des interviews conduites. Afin de s'assurer que les différentes questions étaient pertinentes et comprises par une majorité de personnes, une dizaine d'étudiants, enseignants et diplômés en sciences de l'éducation ont effectué une relecture et formulé des remarques. Enfin, après une révision de quelques questions du questionnaire exploratoire, il a été soumis, une première fois, à un échantillon de dix individus présentant les mêmes caractéristiques que celles de notre échantillon. Sur la base des réponses récoltées, nous avons créé des catégories de réponses potentielles qui seront utiles lors de l'analyse de contenu réalisée après le recueil de données. Le questionnaire d'enquête final soumis aux étudiants par courriel comporte 39 questions ouvertes et fermées. Pour les questions ouvertes, l'étudiant a la possibilité d'explicitier ses réponses. Les questions fermées proposent une liste préétablie de réponses possibles de plusieurs types : choix dichotomiques, choix multiples ou choix d'appréciation de type Likert.

2.3. Questions de recherche

Nos quatre questions de recherche ont pour objectif de déterminer les différents usages que les étudiants font de *Facebook* dans le cadre de leur formation à l'université. Elles permettent également de mettre en exergue les activités réalisées par le biais de ce réseau social.

Q1. Quelles sont les perceptions des étudiants interrogés à propos de *Facebook* ?

Q2. Quels sont les usages pédagogiques que les étudiants font de *Facebook* dans le cadre de leur formation ?

Q3. Quels sont les usages communicationnels que les étudiants font de *Facebook* dans le cadre de leur formation ?

Q4. Quelles sont les activités que réalisent les étudiants à travers les groupes *Facebook* dans le cadre de leur formation ?

2.4. Considérations méthodologiques

Le traitement des données quantitatives collectées a été réalisé à l'aide du logiciel SPSS. L'analyse statistique descriptive nous permettra de décrire les caractéristiques de notre échantillon de référence alors que l'analyse statistique inférentielle nous permettra d'étendre les résultats obtenus à la population parente dont l'échantillon est issu. Le seuil de significativité utilisé est de .05 car c'est celui qui est le plus couramment retenu lors d'analyses statistiques inférentielles. L'analyse catégorielle des réponses aux questions ouvertes de Mucchielli, « consistant à repérer des expressions [...] textuelles des thèmes généraux récurrents qui apparaissent sous divers contenus plus concrets » (Mucchielli, 1979, p. 269), a été retenue car elle permet de traiter les informations récoltées à travers des questions ouvertes et de catégoriser les différentes réponses selon des ensembles cohérents et univoques tout en prenant en compte le contexte dans lequel ces réponses ont été produites. L'analyse de contenu des différentes questions ouvertes a été réalisée à l'aide du logiciel NVivo afin de réaliser l'analyse sémantique des différentes réponses pour créer des catégories utiles pour les diverses analyses. La théorie ancrée a été retenue afin de traiter le corpus des différentes questions ouvertes, c'est-à-dire qu'à partir des données recueillies, des éléments clés ont été identifiés. « Les logiciels appartenant à la catégorie de l'analyse manuelle offrent surtout un soutien aux analyses. Ils permettent aux chercheurs d'être assistés pour la préparation des documents, le codage et la création de rapports. Le logiciel [...] fournit un espace structuré pour organiser ses idées » (Roy et Garon, 2013, p. 163).

3. Analyse des résultats

3.1. Les perceptions des étudiants (Q1)

3.1.1. Définition de Facebook

Le tableau ci-dessous reprend les données recueillies à propos de la vision que se font les étudiants universitaires de l'outil *Facebook*.

Tableau 2 • Représentation générale de l'outil par les étudiants universitaires (N=100)

Communicationnel	Addictif	Curiosité	Danger	Ludique	Organisationnel	Autre
60 %	3 %	10 %	5 %	1 %	8 %	12 %

60 % des individus ont mentionné la « Communication » comme caractéristique spécifique relative à Facebook. La dimension « Curiosité » dans laquelle ont été catégorisés des termes comme « Voyeurisme », « Espionnage », « Suivre la vie des autres », « Envie de voir », « Désir de connaître », etc. a été mentionnée par 10 % des participants à l'enquête. La représentation « Organisationnel » a quant à elle été relatée par 8 participants sur 100 spécifiant entre autres « Aménager son temps », « Coordination des tâches », « S'arranger pour les réunions », etc. La dimension « Danger » a été évoquée par 5 % des individus rapportant « Facebook peut être dangereux », « Ce n'est pas toujours bien sécurisé », etc. En ce qui concerne la catégorie « Autre », énoncée par 12 % de l'échantillon, ont été répertoriés les éléments de réponses tels que « Retrouver des amis d'enfance », « On peut y créer des groupes de soutien », « Chronophage », etc.

3.1.2. Description de Facebook

Le tableau 3 reprend les catégories d'adjectifs mentionnées par les individus à la question « Utilisez cinq adjectifs pour décrire *Facebook* ».

Tableau 3 • Catégories d'adjectifs utilisés par les étudiants universitaires pour décrire Facebook (N=100)

Communicationnel	Addictif	Pratique	Dangereux	Ludique	Utile	Autre
11 %	5 %	20 %	16 %	10 %	10 %	28 %

L'aspect pratique de la plateforme, un des adjectifs les plus fréquemment évoqués par les individus regroupe des mots tels que « facile », « rapide ». Il a été mentionné par un cinquième des étudiants contre un dixième pour le côté communicationnel, alors que la catégorie « Dangereux » fait apparaître 16 % de choix. Après comparaison des catégories de réponses de la question précédente (définition de *Facebook*) et celle-ci, force est de constater que la catégorie « Communication » est beaucoup moins mentionnée dans cette question portant sur les adjectifs. Ces résultats peuvent potentiellement s'expliquer par l'utilisation d'adjectifs pour décrire *Facebook*. Les choix sont alors limités et se basent davantage sur une description de l'outil plutôt que sur une définition. La praticité de l'outil a été citée par la majorité des individus et peut être expliquée par le fait que les étudiants ont davantage décrit la manière de communiquer via *Facebook*.

3.2. Les usages pédagogiques (Q2)

3.2.1. Avantages et inconvénients liés à l'utilisation de *Facebook* dans le cadre des études universitaires

Par le biais de deux questions ouvertes, nous avons demandé aux étudiants de citer trois avantages et trois inconvénients de l'utilisation de *Facebook* dans le cadre des études universitaires. La communication est l'avantage le plus cité par les étudiants (42 %). Ceci peut s'expliquer par le fait que des termes tels que « collaboration », « partage d'informations » ont été placés dans cette catégorie. En effet, ces étudiants ont surtout mis en exergue le fait que les informations relatives à leur cursus universitaire venaient plus naturellement à eux et qu'ils pouvaient bénéficier de plusieurs avis concernant les questions qu'ils se posaient à propos des contenus des cours et des travaux à réaliser. La praticité a été citée par 29 % des étudiants. En effet, cette catégorie renfermait également des termes tels que « rapide », « pratique », « facile ». Ces étudiants ont surtout mis en évidence le fait qu'ils maîtrisaient bien cette plateforme, qu'il était plus aisé pour eux d'y trouver certaines informations relatives à leurs études et qu'ils étaient davantage à l'aise pour communiquer à travers cet outil. L'accessibilité a également été relevée par 14 % des individus. Cette catégorie rassemblait des éléments comme « Je peux m'y connecter quand je veux », « La plateforme ne plante jamais », « Je peux m'y connecter avec mon téléphone, ma tablette... », « J'ai directement accès aux informations grâce à des notifications », etc. L'inconvénient le plus cité par les étudiants (45 %) est relatif aux problèmes de communication. En effet, ces étudiants

ont relevé des problèmes liés à la communication à distance du fait qu'une partie des possibilités offertes par la conversation en présentiel (intonation, regard, gestes, etc.) n'était pas présente dans la communication écrite (ne pas comprendre ce qui est écrit, considérer ce qui est écrit de manière négative parce que l'intonation n'est pas présente, absence de marqueurs personnels, etc.). Le deuxième inconvénient cité par 30 % des étudiants est relatif à la dispersion de l'attention que peut amener cette plateforme dans le cadre de leurs études universitaires. Les étudiants ont relevé qu'il y avait trop de sources de distraction sur *Facebook* (une nouvelle vidéo, une demande de jeu, un nouveau commentaire, une nouvelle notification, etc.). Le troisième inconvénient cité rejoint les problèmes de confidentialité (25 %). Les étudiants ayant relevé cet inconvénient ont émis plusieurs remarques relatives à cet aspect, à savoir : « On est obligé de s'inscrire dans des groupes d'étudiants », « Je suis obligé de paramétrer mes accès », « Mes options de confidentialité devraient être modifiées », etc.

3.2.2. Améliorations suggérées en vue de permettre une utilisation plus efficace de *Facebook* dans un but pédagogique

Afin de récolter des pistes d'amélioration en réponse à certains inconvénients évoqués par les étudiants concernant l'usage de *Facebook* dans le cadre de leurs études universitaires, nous leur avons soumis une question ouverte qui leur permettait de décrire la manière dont ils envisageraient de modifier *Facebook* en vue de rendre son usage pédagogique plus performant. C'est le « collecticiel » (espace de dépôt) qui atteint le pourcentage de réponse le plus élevé : un quart des étudiants ajouteraient cette option sur *Facebook* afin de l'utiliser au mieux, les différents dépôts (résumés, travaux, etc.) se trouvant en effet dispersés. Chacune des autres fonctionnalités demandées représente moins de 20 % des réponses : création d'un tableau d'affichage (19 %), création de groupes spécifiques pour chaque année d'étude et pour chaque cours (13 %), création d'espaces collaboratifs avec des applications permettant de travailler simultanément à plusieurs sur le même document (12 %), ajout d'une bibliothèque rassemblant l'ensemble des ressources nécessaires (9 %). Dans la catégorie « Autres », citée par 13 % des étudiants, on retrouve des éléments tels que « création de notifications personnalisées », « zone de traçage », « détecteur de plagiat », « correcteur orthographique », « FAQ », etc. Selon les étudiants, *Facebook* devrait rassembler davantage

d'outils d'information, de régulation et de gestion du travail, ainsi que des outils intégrés favorisant le partage de ressources pédagogiques.

3.2.3. Raisons pour lesquelles les étudiants utilisent Facebook dans le cadre de leurs études universitaires

Parmi une série de 12 propositions, chaque étudiant interrogé devait sélectionner les trois raisons principales pour lesquelles il utilise Facebook dans le cadre de ses études. La répartition en pourcentage des trois premiers choix des étudiants est présentée dans le tableau 4.

Tableau 4 • Raisons pour lesquelles les étudiants (N=100) utilisent Facebook dans le cadre de leurs études universitaires

Raisons	Répartition
Car je me connecte plus naturellement sur <i>Facebook</i> que sur les plateformes développées par l'université.	66%
Car j'aime bénéficier de réponses à mes questions dans des délais assez réduits.	51%
Car j'aime bénéficier de plusieurs avis concernant mes interrogations à propos des travaux à rendre.	47%
Car les informations concernant les différents cours viennent plus naturellement à moi.	38%
Car je ne trouve pas toujours les informations nécessaires sur les plateformes développées par l'université.	25%
Car je suis plus à l'aise pour communiquer sur <i>Facebook</i> .	20%
Car je n'ose pas toujours poser mes questions sur les plateformes développées par l'université.	10%
Car le professeur ne peut pas lire ce que je peux écrire dans le groupe.	7%
Car les moyens de communication développés sur <i>Facebook</i> sont plus stables que sur les plateformes développées par l'université.	6%
Car je maîtrise très bien <i>Facebook</i> .	6%
Car je ne maîtrise pas assez les plateformes développées par l'université.	4%
Car je peux faire part de mes états d'âme de manière plus ou moins privée.	4%

Les trois raisons remportant le plus grand nombre d'adhésions rejoignent les trois principaux avantages relevés pour l'utilisation de Facebook dans le cadre des études universitaires. La première raison citée relève de l'accessibilité, la deuxième soutient la praticité, et la troisième concerne la communication. Signalons également que 20 % des étudiants se sentent plus à l'aise pour communiquer sur Facebook. En effet, les étudiants inscrits sur Facebook s'y connectent régulièrement et communiquent facilement avec leurs amis par le biais de différentes activités telles que: mettre à jour leur profil, chatter avec leurs amis, visionner les photos récemment publiées, etc. (Thivierge, 2011).

3.3. Les usages communicationnels (Q3)

3.3.1. Activités communicationnelles réalisées par les étudiants

Nous avons demandé aux étudiants d'évaluer, selon une échelle allant de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord », l'importance qu'ils accordent à une série de cinq activités lorsqu'ils sont connectés sur Facebook (tableau 5).

Tableau 5 • Activités communicationnelles réalisées par les étudiants (N=100) dans le cadre de leurs études universitaires

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni en désaccord, ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord	Khi-carré	d	Valeur de p
J'utilise Facebook pour discuter avec des étudiants à propos de différents travaux individuels à rendre.	2%	3%	8%	57%	30%	100,9	4	.000
J'utilise Facebook pour discuter avec des étudiants à propos de différents travaux de groupe à rendre.	1%	2%	3%	46%	48%	109.8	4	.000
J'utilise Facebook pour envoyer des messages à d'autres étudiants pour donner des informations concernant l'université.	4%	5%	10%	61%	20%	102.7	4	.000
J'utilise Facebook pour me renseigner à propos de l'organisation générale (horaire, cours supprimés, etc.).	6%	14%	8%	53%	19%	68	4	.000
J'utilise Facebook pour échanger du contenu (questions d'examens, travaux, résumés, etc.).	4%	2%	7%	57%	30%	100.6	4	.000

Afin de comparer les différentes distributions observées à celles qu'on obtiendrait si chaque variable suivait une loi équirépartie de 20 % dans chaque colonne relative à l'échelle d'accord (distribution théorique), un test du Khi carré a été réalisé pour chaque activité proposée. Ce test souligne que la signification asymptotique de chaque variable est inférieure à .05 ($d = 4, p = .000$). Nous pouvons donc en conclure qu'il y a une différence significative entre la distribution observée et la distribution théorique pour l'ensemble des comparaisons réalisées. Les

activités qui totalisent un pourcentage supérieur à 50 % en regroupant les colonnes « D'accord » et « Tout à fait d'accord » sont des activités liées au contenu des études, ces activités sont différentes de celles réalisées par les étudiants dans le cadre d'une utilisation quotidienne privée de *Facebook*. L'activité remportant le plus grand pourcentage entre les colonnes considérées est l'activité relative à l'utilisation de *Facebook* pour échanger avec des étudiants à propos des différents travaux de groupe à rendre. On peut donc en conclure que les étudiants communiquent davantage via Facebook lorsqu'ils sont confrontés à la réalisation de travaux de groupe.

À propos de l'apprentissage, Paquelin soutient que « apprendre mobilise un ensemble de médias, ressources matérielles et humaines, au sein d'un système de formation et que l'observation des pratiques éducatives laisse apparaître un phénomène récurrent et encore mal connu en termes de processus : l'introduction des médias de formation » (Paquelin, 2009, p. 11). Selon nos résultats, c'est tout à fait dans ce sens que s'inscrit l'utilisation du réseau social *Facebook*. En effet, les différents apports (documents écrits, audiovisuels, iconographiques, etc.) des étudiants et l'utilisation des ressources et outils présents sur *Facebook* permettent une meilleure organisation de la formation et un renforcement de sa structure. Ces différents résultats rejoignent ceux de (Lampe *et al.*, 2011) pour qui *Facebook* peut faciliter la collaboration chez les apprenants. Ainsi, la majorité des étudiants universitaires aux États-Unis utilise ce réseau social (Ellison *et al.*, 2007 ; Lampe *et al.*, 2011). Plus de la moitié l'ont intégré en l'utilisant à des fins telles que la communication avec leurs camarades de classe à propos de l'école (Salaway *et al.*, 2008) et plus d'un quart l'ont utilisé dans le cadre d'un cours spécifique (Smith *et al.*, 2009). Par ailleurs, d'autres recherches montrent que des apprenants l'utilisent en tant que site de réseautage personnel de manière à la fois formelle et informelle pour discuter sur des sujets académiques (Selwyn, 2009). Selon (Lampe *et al.*, 2011), *Facebook* peut permettre l'atteinte d'objectifs éducatifs. En effet, en connectant des étudiants grâce à un réseau social, ceux-ci peuvent apprendre à travers des processus collaboratifs de co-construction de sens.

3.3.2. Moyens de communication utilisés par les étudiants

Il était demandé aux étudiants d'évaluer l'importance qu'ils accordent à différents moyens de communication en se positionnant sur une échelle de Likert à cinq niveaux.

Tableau 6 • Moyens de communication utilisés par les étudiants (N=100) dans le cadre de leurs études universitaires

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni en désaccord, ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord	Khi-carré	d	Valeur de p
J'utilise le chat.	8%	10%	12%	38%	32%	34,7	4	.000
J'utilise les messages privés.	5%	3%	9%	51%	32%	79,1	4	.000
J'utilise des messages dans les groupes dont je fais partie.	4%	1%	7%	49%	39%	91,4	4	.000
J'utilise les commentaires sur le mur de mes « amis ».	38%	22%	10%	23%	8%	27,3	4	.000
J'utilise ma page personnelle.	38%	22%	10%	23%	8%	82,0	4	.000
J'utilise la vidéoconférence présente dans le chat Facebook.	53%	28%	11%	4%	3%	200,4	4	.000

Comme pour l'analyse précédente, un test du Khi-carré a été réalisé pour chaque activité donnée. Ce test souligne que tous les χ^2 sont significatifs ($d = 4$, $p = .000$), ce qui signifie que la répartition entre les catégories diffère significativement de l'équipartition. Les moyens de communication utilisés par les étudiants dans le cadre de leurs études universitaires totalisant un pourcentage supérieur à 50 % après regroupement des colonnes « D'accord » et « Tout à fait d'accord » sont le *chat*, les messages privés et les messages à travers les groupes. Ce sont les messages à travers les groupes qui sont les plus couramment utilisés. En effet, le pourcentage d'étudiants qui se déclarent « D'accord » et « Tout à fait d'accord » pour utiliser ce moyen de communication est de 88 %. Ce résultat ne rejoint pas tout à fait celui obtenu à la question relative à l'« évaluation de l'importance que les étudiants accordent aux activités réalisées sur *Facebook* ». Il apparaît, au travers des réponses à cette question, que les étudiants utilisaient davantage les messages privés de manière générale. Il est donc possible de conclure que les étudiants utilisent plus les messages privés dans le cadre de communications privées et les messages à travers les groupes dans le cadre de communications portant sur leurs activités directement liées à l'université. Il est possible d'expliquer ce fait en s'intéressant au point précédent qui nous informe que les étudiants communiquent davantage à propos de leurs études lorsqu'ils sont confrontés à la réalisation de travaux de groupe. Les étudiants utilisent donc, sans doute, la communication à travers des groupes spécifiques lorsqu'ils doivent réaliser des travaux à plusieurs. Les

trois autres moyens de communication, mis à disposition par Facebook, que sont les commentaires, la page personnelle et la vidéoconférence totalisent par contre un pourcentage supérieur à 50 % pour les deux colonnes « Pas du tout d'accord » et « Pas d'accord » ce qui révèle un attrait beaucoup moins marqué pour ces outils.

3.4. Les usages des groupes Facebook (Q4)

Après avoir mis en évidence les messages à travers les groupes comme moyen de communication prépondérant, une question relative à l'inscription des étudiants au sein de ces groupes Facebook spécifiques à l'université et/ou à leur formation leur a été posée.

Tableau 7 • Activités réalisées au sein des groupes créés dans le cadre des études universitaires (N=100)

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni en désaccord, ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord	Khi-carré	d	Valeur de p
Je prends connaissance des différents travaux à rendre.	9%	15%	12%	50%	14%	52.7	4	.000
Je prends connaissance des échéances des travaux à rendre.	9%	18%	14%	44%	16%	33.5	4	.000
Je diffuse du contenu.	6%	20%	7%	47%	20%	45.9	4	.000
Je pose des questions concernant les différents travaux à rendre.	2%	8%	12%	48%	29%	62.6	4	.000
Je m'organise avec mon groupe de travail pour la répartition des différentes tâches à réaliser.	11%	17%	6%	38%	28%	30.7	4	.000
Je communique des informations dont je dispose concernant les cours.	2%	6%	10%	54%	28%	81.7	4	.000
J'encourage d'autres étudiants dans le cadre de leurs études.	17%	7%	19%	36%	21%	19.7	4	.000
Je recherche de la motivation à travers d'autres étudiants.	25%	10%	21%	31%	12%	13.9	4	.000
Je recherche de l'aide lorsqu'un problème technique se pose.	8%	8%	11%	47%	26%	50.9	4	.000

Le tableau 7 synthétise les réponses provenant de la question demandant aux étudiants d'indiquer la nature des activités réalisées dans le(s) groupe(s) dont ils font partie.

Hormis pour l'item « Sur le groupe, je recherche de la motivation à travers les autres étudiants », chaque activité totalise un pourcentage

supérieur à 50% entre les colonnes « D'accord » et « Tout à fait d'accord ». L'activité dont la somme entre ces mêmes colonnes obtient le plus grand pourcentage (82 %) est l'activité relative à la communication d'informations dont l'étudiant dispose concernant les différents cours, suivie de la proposition « Sur le groupe, je pose des questions concernant les différents travaux à rendre » (77 %). Ces deux mêmes activités totalisent également le plus faible pourcentage (8 % et 10 %) entre les colonnes « Pas du tout d'accord » et « Pas d'accord ».

À travers notre enquête, nous pouvons également constater que les apprenants participent activement au processus de formation. Par l'introduction naturelle d'un réseau social dans leurs pratiques, ils ont choisi de jouer un rôle actif dans l'apprentissage en produisant leur propre savoir et en le mettant à la disposition des autres étudiants selon une logique socio-constructiviste, en étant aidés pour cela par les ressources qui leur sont fournies. Pour Roland (2015, p. 13), « l'usage pédagogique des médias sociaux rend l'étudiant plus actif dans son apprentissage en dépassant la simple acquisition de connaissances pour une mise en situation d'autonomie guidée et un encouragement à l'interaction entre étudiants ». En effet, c'est à travers de tels outils et des interactions auxquelles ils donnent naissance que s'élabore la connaissance. Cette conclusion peut être illustrée par deux études réalisées aux États-Unis (Lampe *et al.*, 2008 ; Lampe *et al.*, 2011), qui ont montré comment Facebook pouvait être utilisé par des étudiants en tant qu'outil informel pour organiser leurs expériences en classe et pour explorer les facteurs qui les inciteraient à effectuer des usages collaboratifs de Facebook dans le cadre des travaux de classe. L'apprentissage de style communautaire existe néanmoins dans les classes lorsque des communautés d'étudiants se forment spontanément. L'apprentissage communautaire est donc complémentaire à l'apprentissage scolaire comme il est pratiqué traditionnellement. Les enseignants devraient reconnaître ce potentiel éducatif, en particulier dans l'éducation à distance : « en effet, la participation à une communauté constitue une forme d'apprentissage libre, informelle, collaborative et contextualisée (...). Dans une communauté, le savoir se transmet dans toute sa richesse, signification et pertinence sociale et culturelle, ce qui n'est pas le cas dans les programmes scolaires traditionnels », selon Wertsch (1984), cité par (Dillenbourg *et al.*, 2003, p. 23).

4. Conclusion, limites et perspectives

Notre recherche présente quelques limites. Tout d'abord, les données (usages et perceptions de *Facebook*) ont été récoltées auprès des étudiants à l'aide d'un questionnaire. Il est donc nécessaire de souligner qu'un questionnaire porte sur ce que les gens affirment, sur du déclaratif et non sur ce qu'ils réalisent effectivement. Il peut donc y avoir une différence entre les deux. Enfin, soulignons également que la taille modeste de notre échantillon ne permet pas de généraliser les résultats au-delà de notre échantillon.

Le pourcentage élevé d'étudiants interrogés qui utilisent *Facebook* dans le cadre de leurs études universitaires (97 %) s'explique par la praticité, la rapidité et la facilité des échanges pédagogiques qu'apporte ce réseau social. L'accessibilité a également été un avantage mis en évidence à travers le fait que cette plateforme est consultable en tout temps et en tous lieux grâce aux différents outils informatiques qui permettent aux étudiants de s'y connecter. Dans un contexte de formation à distance, *Facebook* ne se substitue pas aux différentes plateformes développées par les institutions universitaires, mais est plutôt utilisé en complément. Malgré ces nombreux points positifs, les étudiants sont restés conscients des inconvénients liés au fait d'utiliser *Facebook* dans leur cursus universitaire. En effet, ils ont relevé les difficultés spécifiquement reliées à la communication à distance, les problèmes relatifs aux différents facteurs de distraction que peut apporter *Facebook* ou encore la fiabilité réduite des informations pédagogiques qui peuvent y être postées. Un autre problème relatif à la structure de l'environnement *Facebook* a également été mis en évidence. En effet, selon les résultats de notre enquête, l'information se trouve dispersée sur ce réseau social et devrait être davantage regroupée autour de fonctions spécifiques liées, par exemple, à la mise à disposition d'informations ou à la gestion et à la régulation des activités, comme c'est le cas pour le collectif ou pour l'espace de documentation que l'on retrouve habituellement sur les plateformes proposées par les universités. Les raisons principales qui poussent les étudiants à utiliser *Facebook* dans le cadre de leurs études résident dans le fait qu'ils se connectent de manière plus naturelle sur ce réseau social que sur les plateformes proposées par l'université et qu'ils aiment obtenir des réponses rapides à leurs questions. Ils utilisent principalement ce réseau social afin de réaliser des travaux de groupes et communiquent de préférence via les messages privés, les messages à travers les groupes et le chat pour échanger dans le cadre de leur formation universitaire. Les

usages généraux de *Facebook*, pratiqués quotidiennement par les étudiants, deviennent des usages pédagogiques déployés dans le cadre de leurs études universitaires afin, notamment, de diffuser et de partager du contenu ou d'organiser un travail de groupe. Toutefois, pour en tirer pleinement parti dans le cadre de leurs études universitaires, les étudiants doivent aller au-delà des usages ludiques classiques afin d'utiliser *Facebook* pour bâtir des réseaux d'apprentissage et de travail (Mian, 2012). Cette utilisation professionnelle de *Facebook* se rencontre particulièrement à travers la création de groupes spécifiques dans lesquels les étudiants bâtissent une véritable communauté d'apprentissage permettant l'atteinte d'objectifs pédagogiques particuliers. En effet, en connectant les étudiants grâce aux outils offerts par les réseaux sociaux, ceux-ci peuvent apprendre à travers des processus collaboratifs de co-construction de sens (Lampe *et al.*, 2011). *Facebook* peut donc être considéré comme un outil pédagogique prometteur, s'il est adapté et utilisé à bon escient.

BIBLIOGRAPHIE

DEPOVER, C., KARSENTI, T. et KOMIS, V. (2007). *Enseigner avec les technologies : favoriser les apprentissages, développer des compétences*. Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.

DILLENBOURG, P., POIRIER, C. et CARLES, L. (2003). Communautés virtuelles d'apprentissage : e-jargon ou nouveau paradigme ? Dans A. Taurisson et A. Sentini (dir.), *Pédagogies.net: l'essor des communautés virtuelles d'apprentissage* (p.11-47). Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.

ELLISON, N. B., STEINFELD, C. et LAMPE, C. (2007) The benefits of Facebook "friends": Social capital and college students' use of online social network sites. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1, 1143-1168. doi: 10.1111/j.1083-6101.2007.00367.x

FANILLI-ISLA, M. (2012). *Guide pratique des réseaux sociaux : Twitter, Facebook, des outils pour communiquer*. Paris, France : Dunod.

KUCUK, S. et SAHIN, I. (2013). From the perspective of community of inquiry framework: An examination of facebook uses by pre-service teachers as a learning environment. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 12(2), 142-156. Repéré à <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1015425.pdf>

LAMPE, C., ELLISON, N. et STEINFELD, C. (2008). Changes in use and perception of Facebook. Dans *Proceedings of the 2008 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, p.721-730. New-York, NY : ACM. doi: 10.1145/1460563.1460675

LAMPE, C., WOHN, D.Y., VITAK, J., ELLISON, N.B. et WASH, R. (2011). Student Use of Facebook for Organizing Collaborative Classroom Activities. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 6(3), 329-347. doi: 10.1007/s11412-011-9115-y

MIAN, A. (2012). Usages de Facebook pour l'apprentissage par des étudiants de l'Institut Universitaire d'Abidjan (IUA). *Adjectif.net*. Repéré à <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article142>

MUCCHIELLI, R. (1979). *L'analyse de contenu des documents et des communications*. Paris, France : ESF.

PAQUELIN, D. (2009). *L'appropriation des dispositifs numériques de formation*. Paris, France : L'Harmattan.

POWNELL, D. (2006). The What, How, and Why of Podcasting in Teacher Education. In *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2006*, p. 2378-2379. Chesapeake, VA : Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).

ROLAND, N. (2015). Les médias socio-numériques comme moteur de l'innovation en pédagogie universitaire. *Éduquer*, 112, 11-14. Repéré à http://niroland.be/documents/Eduquer112_Roland.pdf

ROY, N. et GARON, R. (2013). Étude comparative des logiciels d'aide à l'analyse de données qualitatives : de l'approche automatique à l'approche manuelle. *Recherches qualitatives*, 32(1), 154-180. Repéré à http://cerberus.enap.ca/ENAP/docs/Portail_etudiant/Etudiants_chercheurs/RoyGaron_2013.pdf

SALAWAY, G., CARUSO, J. B. et NELSON, M. R. (2008). *The ECAR study of undergraduate students and information technology, 2008*. EDUCAUSE Center for Analysis and Research. Repéré à <https://net.educause.edu/ir/library/pdf/ers0808/rs/ers0808w.pdf>

SELWYN, N. (2009). Faceworking: Exploring students' education-related use of Facebook. *Learning, Media and Technology*, 34(2), 157-174. doi: 10.1080/17439880902923622

SMITH, S. D., SALAWAY, G. et CARUSO, J. B. (2009). *The ECAR study of undergraduate students and information technology, 2009*. EDUCAUSE Center for Analysis and Research. Repéré à <https://net.educause.edu/ir/library/pdf/ers0906/rs/ERS0906w.pdf>

TEMPERMAN, G. et De LIÈVRE, B. (2009). Développement et usage intégré des podcasts pour l'apprentissage. *Distances et savoirs*, 7(2), 179-190. Repéré à http://www.cairn.info/sci-hub.io/resume.php?ID_ARTICLE=DIS_072_0179.

THIVIERGE, J. (2011). *Jeunes, TIC et nouveaux médias : une étude exploratoire au Cégep de Jonquière*. Jonquière, Canada : Cégep de Jonquière. Repéré à http://ecobes.cegepjonquiere.ca/media/tinymce/Publication-Education/RappNvMedias_ELECTRONIQUE_11Nov11.pdf

1. Contexte

Le projet de recherche décrit dans cet article vise à aider des enfants et adolescents dont l'un des parents souffre d'un traumatisme crânien. Alors que de nombreuses initiatives existent pour aider le patient cérébro-lésé, peu se préoccupent de la situation psychologique de leurs enfants. Ces derniers sont confrontés, du jour au lendemain, à un quotidien difficile, où ils doivent apprendre à vivre avec un parent pouvant être dépressif, agressif, amnésique, aux prises à des changements d'humeur fréquents et parfois aussi physiquement handicapé (Kneafsey et Gawthorpe, 2004; Swift *et al.*, 2003). Les professionnels de la santé recommandent une prise en charge des adolescents à travers des rencontres individuelles ou en groupes avec un thérapeute (Kreutzer *et al.*, 2002; Wade *et al.*, 2006), solution délicate dans la pratique, car ces adolescents manquent de disponibilité et restent trop souvent isolés et désarmés. Ainsi, des services en ligne ont été créés pour aider les proches aidants des personnes atteintes d'un traumatisme crânien, comme *WE CARE* (Rotondi *et al.*, 2005) ou *FPS* (Wade *et al.*, 2006). Cependant, ces services s'appuient sur une pédagogie classique plutôt passive, sans mettre l'utilisateur en situation.

Notre projet vise à offrir une assistance informatisée qui exploite au mieux les possibilités informatiques d'aujourd'hui, notamment en matière de mise en situation fortement interactive de l'apprenant. Comme nous le détaillerons dans la suite de cet article, cette assistance prend la forme d'une simulation narrative, conçue pour être intégrée à terme dans une plateforme en ligne, afin d'assurer des débriefings et un coaching à distance.

2. Des scénarios balisés aux simulations narratives

L'apprentissage dans des situations d'interaction sociale complexes, qui nécessitent des prises de décision délicates, a été le champ d'application de nombreux logiciels, notamment des « *serious games* » tels que *Happy Night* ("Happy Night", 2017) pour la prévention de comportements dangereux liés à l'alcool chez les jeunes, *EHPAD'PANIC* ("EHPAD'PANIC", 2017) et *EHPAD* (Allain et Szilas, 2012) pour former le personnel qui accompagne les personnages âgées, ou encore *At-risk in the ED* ("At-risk in the ED", 2017) pour former à l'accueil en urgence dans les hôpitaux. Quelques études académiques ont aussi porté sur des logiciels de ce type, comme par exemple *HeartSense* pour la prévention des

accidents cardiaques (Silverman *et al.*, 2003) ou *GHD Game* pour la sensibilisation aux questions d'hygiène des mains (Molnar *et al.*, 2012).

Ces jeux pédagogiques offrent une interaction assez limitée : confronté à une situation, l'utilisateur doit choisir parmi quelques options proposées, et reçoit un feedback, immédiat ou différé, par rapport à son choix. Si cela peut suffire dans certains scénarios pédagogiques, dans le cadre d'apprentissages autour de situations sociales plus complexes, on souhaite mettre l'utilisateur dans une situation authentique, c'est-à-dire plus proche des situations dans lesquelles il devra mobiliser les connaissances acquises, ce qui implique une certaine liberté d'action dans une simulation sociale (Gredler, 2004), selon une approche constructiviste de l'apprentissage. Si les jeux cités ci-dessus restent dans des situations très balisées, c'est que la technologie sous-jacente est limitée, fondée sur le récit à embranchements : l'interaction se traduit par une bifurcation dans la linéarité du récit, qui amène à écrire plusieurs branches narratives selon les choix de l'utilisateur. Au niveau de l'écriture globale du récit, cela correspond à écrire un grand arbre narratif, illustrant tous les chemins narratifs possibles, éventuellement assorti de conditions. Or, ce principe ne permet pas de forte interactivité, car le nombre de branches à prévoir augmente de manière exponentielle avec le nombre de choix (Crawford, 2012 ; Rankin, 1995 ; Szilas, 1999, 2003).

Les recherches issues de l'Intelligence Artificielle menées depuis la fin des années 1990 en récit interactif (appelé parfois aussi « drame interactif ») ont abordé précisément cette question. Différentes approches et systèmes ont été proposés pour rendre le récit plus interactif, tout en maintenant la cohérence du récit mais sans imposer un travail d'écriture impossible : modélisation de personnages autonomes (Aylett *et al.*, 2005), modélisation de théories narratives ou dramaturgiques (Barber et Kudenko, 2007 ; Sgouros, 1999 ; Szilas, 1999), combinaison d'agents conversationnels et de scripts (Mateas et Stern, 2003), réseaux bayésiens (Mott et Lester, 2006), planification automatique (Young *et al.*, 2004), (Pizzi *et al.*, 2007). Si nombre de ces systèmes ne sont pas spécifiquement dédiés à l'apprentissage, certains d'entre eux ont été utilisés dans un contexte pédagogique, notamment ceux concernant les apprentissages de comportements sociaux. C'est le cas de *FearNot!* (Aylett *et al.*, 2005), destinée à la problématique du harcèlement à l'école (« *bullying* »), ou de *Thespian* utilisé notamment pour la formation interculturelle des soldats étatsuniens (Si et Marsella, 2014).

Nous appelons ces systèmes des simulations narratives. En tant que simulations, elles permettent de placer l'apprenant dans une étude de cas dynamique, dans laquelle il prend un rôle authentique bien défini et interagit avec un modèle de la réalité (Gredler, 2004 ; Rieber, 2002). Même si nous nous focaliserons sur la simulation elle-même (l'artefact), une simulation éducative s'inscrit toujours dans un contexte plus large, une séquence pédagogique, dans laquelle la préparation (avant) (Kriz, 2010), le guidage (pendant) (De Jong et Van Joolingen, 1998) et le débriefing (après) (Fanning et Gaba, 2007) jouent un rôle prépondérant. Au niveau théorique, ces simulations éducatives relèvent d'une pédagogie active dans laquelle les apprenants peuvent expérimenter, découvrir par eux-mêmes certaines caractéristiques de la réalité modélisée, et ainsi échapper à la limite fondamentale des approches frontales (un cours, un texte, une vidéo) où la connaissance est montrée à l'apprenant sans lui donner les outils pour construire lui-même sa connaissance. Au niveau expérimental, l'efficacité de cette approche constructiviste des simulations s'avère finalement complexe à mettre en évidence (Rieber, 2002). Néanmoins, c'est dans ce cadre que nous nous plaçons, étant données les limitations actuelles des approches alternatives existantes, mentionnées ci-dessus.

Ce cadre théorique de la simulation nous amènerait naturellement à viser une simulation *sociale*, dans laquelle l'apprenant interagirait avec un modèle des interactions psycho-sociales entre les membres d'une famille présentant les caractéristiques propres à notre contexte. Or nous proposons une simulation *narrative*. Bien qu'il y ait une tendance dans la communauté de recherche en drame interactif à glisser d'une notion vers l'autre, c'est-à-dire à considérer que la simulation de personnages socialement riches soit en gros équivalente à produire un récit interactif – voir par exemple comment est abordée cette question dans les systèmes *Thespian* (Si et Marsella, 2014) et *Promweek* (McCoy *et al.*, 2011) – nous abordons la dimension narrative en elle-même. En tant que récit (interactif), une simulation narrative possède des caractéristiques propres : éléments structuraux typiques – séquence narrative (Adam, 1994), fonctions narratives (Propp, 1928), etc. –, dimension discursive (intention communicative du récit) et globalement un focus sur l'effet produit chez l'utilisateur. Sur le plan théorique, nous nous appuyons sur l'hypothèse que le récit est un outil pédagogique efficace, voire un mode fondamental d'encodage de l'information (Bruner, 1991). Cette hypothèse, largement suivie dans la pratique enseignante (Jackson, 1995) ou même marketing

avec le *Storytelling*, a aussi été corroborée par des expériences en laboratoire montrant qu'une structure narrative favorise la rétention d'information (Thorndyke, 1977). Ainsi, nos travaux font l'hypothèse que la nature narrative de l'expérience interactive va augmenter l'impact de la simulation. En complément des questions de mémorisation des événements, deux caractéristiques fondamentales du récit sont susceptibles d'aider l'apprentissage : d'une part le récit engage son public, l'immerge dans une histoire dans laquelle il reste très concentré, en produisant une large palette d'émotions ; d'autre part, dans sa dimension discursive, le récit *est* message (Adam, 1994) et donc constitue un moyen, indirect mais efficace, d'avoir un impact sur un public.

Enfin, la dimension ludique d'une simulation narrative est aussi susceptible d'augmenter l'engagement de l'apprenant (Jones, 1998 ; Malone et Lepper, 1987). Toutefois, cette dimension n'est pas le moteur de notre recherche, car s'il y a jeu dans une simulation narrative, c'est davantage par la combinaison de deux facteurs, l'engagement par le récit et le sentiment de contrôle sur ce récit – « *narrative agency* » (Murray, 1997) – que par l'ajout de fonctionnalités typiquement ludiques telles que des scores ou de la compétition. Dans la pratique, c'est-à-dire dans l'acceptation sociale du terme de « jeu », une simulation narrative sera considérée comme un jeu, au même titre qu'un jeu d'aventure. De plus, étant donné notre public cible, l'aspect « jeu vidéo » sera recherché (voir la section suivante).

Nos travaux vont donc consister à construire une simulation narrative qui immerge l'apprenant dans une situation familiale authentique, riche en interaction, et utiliser pour cela une approche technologique avancée, décrite dans la section suivante.

3. Innovation technologique : simulation narrative en 3D

Notre approche technologique vise plusieurs objectifs. Comme expliqué ci-dessus, dans un contexte narratif, nous voulons gagner en authenticité en sortant du carcan des approches par embranchement pour donner à l'apprenant plus de liberté d'action sur son environnement d'apprentissage. De plus, étant donné notre public cible, nous souhaitons motiver l'apprenant en lui présentant un environnement d'apprentissage qui rappelle le jeu vidéo. Il ne s'agit pas ici de refaire un véritable jeu vidéo et ainsi concurrencer les jeux commerciaux qui font partie intégrante de la vie de bon nombre d'adolescents, mais de proposer une expérience qui,

dans ses principes, reprend certains codes du jeu vidéo, notamment en matière d'interaction : quêtes de personnages, navigation en 3D. Plus que rendre l'apprentissage amusant – « *making learning fun* » (Malone et Lepper, 1987) –, il s'agit ici de rendre l'apprentissage cohérent avec les média consommés par le jeune.

3.1. Le moteur narratif

Le projet s'est appuyé sur un moteur narratif déjà développé dans notre équipe, nommé *IDtension*, qui permet de générer une suite d'événements narratifs en fonction des actions d'un utilisateur. Le fonctionnement de ce moteur a été détaillé ailleurs (Szilas, 2003, 2007), mais nous en rappelons quatre principes fondateurs.

- Les actions sont décrites sous forme prédicative. Le moteur narratif est ainsi, dans une large mesure, indépendant du mode de représentation à l'écran (texte, 3D, etc.). Grâce à ce principe, le moteur fonctionne en deux langues (français, anglais).
- Les actions sont décomposées en deux niveaux : un acte narratif générique (Informer, Dissuader, Demander de l'aide, etc.) et des éléments spécifiques à l'histoire : personnages, objectifs, tâches (moyens d'atteindre les objectifs), obstacles (événements conduisant à l'échec d'une tâche) et valeurs (axes éthiques altérant les jugements et actions des personnages). L'articulation de ces deux niveaux permet une grande variabilité des actions générées.
- Une logique narrative génère toutes les actions possibles à un moment donné, selon un ensemble de règles de production.
- Les actions des personnages non joueurs (PNJ) sont sélectionnées par un modèle de l'utilisateur, qui estime l'impact sur l'utilisateur de chaque action possible, selon un certain nombre de critères narratifs : cohérence de l'action par rapport aux objectifs et valeurs du personnage qui l'entreprend, pertinence de l'action dans le contexte, adéquation de l'action à la complexité actuelle de l'intrigue et enfin potentialité de l'action à générer un conflit dramatique par rapport aux valeurs du récit.

IDtension a donc été conçu d'une manière radicalement différente des approches par embranchement mentionnées ci-dessus. Par rapport aux autres travaux du domaine qui eux aussi s'appuient sur des techniques d'Intelligence Artificielle (Aylett *et al.*, 2005 ; Barber et Kudenko, 2007 ; Mateas et Stern, 2003 ; Pizzi *et al.*, 2007 ; Young *et al.*, 2004), *IDtension* présente l'avantage de proposer en permanence un grand nombre d'actions possibles à l'utilisateur, typiquement plusieurs dizaines (Szilas,

2007 ; Szilas et Ilea, 2014). Le coût à payer pour cette diversité est que l'expérience narrative peut parfois paraître plus décousue et les actions individuelles moins bien exprimées (Szilas, 2014).

Loin d'être donnée comme un entrant fixe du projet, cette technologie a été améliorée en continu durant le projet. Trois améliorations principales ont été apportées, pour mieux répondre aux besoins de l'écriture scénaristique.

- De nouveaux actes narratifs génériques ont été ajoutés au moteur, pour étendre le mécanisme de délégation, qui permet à un personnage d'en aider un autre en prenant en charge son objectif : en plus de l'acte de demande d'aide, celui de proposition d'aide a été introduit, ce qui revient à ajouter trois prédicats (pour proposer, accepter et refuser l'aide) et l'ensemble des règles qui s'y rattachent.

- Gestion de la complexité : l'idée sous-jacente est de réguler la complexité globale du récit, afin que l'histoire à un moment donné ne soit ni trop simple (un seul personnage actif, une seule quête), ni trop complexe (de multiples quêtes en parallèle qui submergeraient l'apprenant). Pour mieux gérer ce critère narratif, nous avons ainsi introduit la notion de noyau, une unité large du récit constituée d'un objectif entrant et d'un objectif sortant. Ce noyau, quand il s'active, couvre toutes les actions qui découlent de l'activation de l'objectif entrant. Il se désactive quand l'objectif sortant est atteint. Ainsi, le système va réguler le nombre de noyaux actifs à un moment donné du récit. Si celui-ci est en dessous d'un certain seuil, le moteur va lancer un nouvel objectif dans le jeu, appelé objectif libre. Cette même action ne serait pas déclenchée si le récit était au-dessus du seuil de complexité.

- Simultanéité : dans un environnement texte, les actions narratives peuvent être représentées de manière séquentielle tandis que dans un environnement tri-dimensionnel, les actions se passent en parallèle. Nous avons donc permis ce parallélisme des actions narratives, tout en limitant à deux le nombre d'actions en parallèle possibles. Cela s'accompagne d'une gestion des ressources, afin qu'un personnage ne soit pas impliqué dans deux actions narratives en même temps (poser une question à un personnage et en même temps répondre à un autre).

3.2. Environnement 3D

Aujourd'hui, la réalisation d'un environnement 3D passe généralement par un moteur de jeu, qui prend en charge la gestion des objets graphiques, l'exécution des animations, le « *path planning* » pour les

personnages, la gestion des caméras, etc. Nous avons choisi le moteur *Unity*. Nous détaillons ci-dessous le design de l'interaction utilisateur. Ce dernier joue le rôle d'un personnage du récit afin d'atteindre un but fixé par le jeu (voir la section 4.2). Il contrôle donc ce personnage, le déplace dans l'environnement 3D et peut interagir avec les personnages (dialogues) et quelques objets du jeu. Nous avons opté à ce niveau pour une vue à la troisième personne plutôt qu'une vue subjective (caméra au niveau des yeux du personnage), car il nous a semblé important de laisser une certaine distance entre l'apprenant et l'adolescent qu'il contrôle. Un choix similaire est décrit dans (Marsella *et al.*, 2000).

Le contrôle du personnage se fait par les flèches pour la direction, tandis que la caméra peut être orientée, horizontalement seulement, par la souris. Cette combinaison clavier/souris correspond bien aux habitudes des « *gamers* », mais n'est pas évidente pour les joueurs moins aguerris. Nous avons donc ajouté un deuxième mode d'interaction, plus proche des jeux « *point and click* » : l'utilisateur peut cliquer sur le sol pour se déplacer, ou sur un personnage pour venir interagir avec lui. Tout déplacement engagé de cette manière peut être annulé par l'utilisateur.

Quand on s'approche d'un personnage donné, une icône sous forme de portrait de ce dernier descend du haut de l'écran : il faut cliquer dessus pour passer dans le mode dialogue. Deux informations complémentaires figurent sur cette icône (voir, sur chacune des deux copies d'écran de la figure 3, la zone centrale supérieure) : 1) le nombre d'actions possibles avec le personnage, ce qui permet d'anticiper l'interaction avec le personnage et surtout de mettre en exergue une caractéristique importante de l'environnement, à savoir la grande quantité d'actions possibles ; 2) l'état émotionnel, visualisé par un portrait neutre qui laisse la place à un portrait en colère (voir figure 3, copie d'écran du haut). Cette seconde information n'a été utilisée que pour un personnage dans le scénario développé.

D'autres icônes, sur les côtés cette fois-ci, permettent d'informer l'utilisateur qu'une action narrative se déroule hors de son champ de vision, à droite si l'icône est à droite, à gauche dans le cas contraire. Si on clique sur cette icône, la caméra se réoriente vers l'action auparavant hors-champ.

Quand ils ne sont pas impliqués dans une action narrative, c'est-à-dire une action décidée par le moteur narratif, les PNJ exécutent des animations « de remplacement », comme par exemple faire un tour de la

pièce en s'arrêtant en quelques endroits, pour regarder un tableau, la télévision, etc.

Enfin, une des difficultés ergonomiques importantes pour notre approche est la gestion de la grande quantité de choix. Sans avoir entièrement résolu cette question, nous avons opté pour un classement des actions possibles selon leur pertinence dans le contexte actuel. Ainsi, les actions qui sont les plus appropriées dans la situation courante seront en tête de liste. Ce choix n'est pas neutre et modifie sensiblement le déroulement de la session d'apprentissage, puisque les actions jugées appropriées, placées en tête de liste, seront davantage sélectionnées.

3.3. Architecture

Deux principes ont guidé notre conception de l'architecture technique: la modularité entre la gestion narrative et la présentation/interaction et l'accès en ligne. Pour cela, nous avons développé une architecture comprenant :

- le moteur narratif qui tourne sur un serveur ;
- un module appelé « théâtre » pour la 3D et l'interaction, qui tourne sur le navigateur du poste client via le plugin *Unity*;
- un module pour le partage des données, qui tourne sur le serveur.

Ces 3 modules communiquent via sockets et le protocole TCP. Cette architecture permet non seulement le déploiement de l'application mais de plus la centralisation des logs, pour des analyses ultérieures, analyses qui sont mentionnées en Section 5 mais qui ont été développées davantage ailleurs (Szilas et Ilea, 2014).

4. Conception narrative

4.1. Méthodologie de co-conception

La conception narrative (écriture elle-même, choix graphiques, choix de mise en scène, paramétrage du moteur, etc.) est au cœur de ce type de projet dès lors que l'on souhaite réaliser un récit interactif allant au-delà du simple prototype technique. Sur le plan méthodologique – qui reste une dimension essentielle dans cette conception –, nous avons constaté que la démarche classique, qui consiste à fournir à l'auteur un moteur narratif fini, doté de ses outils auteurs, ne fonctionnait pas. En effet, les demandes scénaristiques appelaient régulièrement des changements du moteur narratif lui-même, freinant ainsi les velléités de l'équipe technique à construire un outil auteur. Ainsi, le moteur narratif a évolué

**Nicolas SZILAS, Jean DUMAS,
Urs RICHLE, Nicolas HABONNEAU**

au cours du projet, pas seulement pour les aspects de débogage, mais sur ses fonctionnalités (voir section 3.1). Nous avons donc été amenés à suivre une approche de co-design, et même de double co-design, centrée non seulement sur l'utilisateur final (plusieurs prototypes successifs ont été développés) mais aussi sur l'auteur. Cette approche semble inhérente au récit « fortement interactif », pour lequel le système visé ne peut pas être défini par un cahier des charges précis, puisque l'expérience utilisateur qui pourra être atteinte est en grande partie inconnue (Szilas, 2015).

Ainsi, le projet a impliqué cinq personnes : un chercheur en récit interactif, un ingénieur en informatique, un chercheur en psychologie clinique, un écrivain, un développeur-graphiste. Il convient d'analyser les collaborations entre ces personnes en termes de rôles, car si une personne a généralement un rôle principal, elle a aussi souvent un ou plusieurs rôles secondaires (Spierling *et al.*, 2011). Ainsi, à ces cinq personnes correspondent dans les grandes lignes les cinq rôles suivants respectivement : concepteur du moteur narratif, ingénieur (architecture, 3D), expert du domaine (ici, psychologie), auteur narratif, auteur 3D (graphisme et comportements), auquel on ajoutera bien sûr l'utilisateur final, l'apprenant. Ce dernier rôle est tenu par les différents testeurs du système mais aussi par les personnes citées ci-dessus lorsqu'elles testent le système. La figure 1 illustre les nombreuses interactions entre ces rôles. Les deux boucles d'interaction les plus notables sont d'une part l'interaction mentionnée ci-dessus entre l'auteur narratif et le concepteur du moteur narratif et d'autre part l'interaction entre l'auteur narratif et l'auteur 3D, le premier proposant des actions/comportements de personnages au second, qui devait à son tour limiter les ambitions du premier pour raison de faisabilité technique et ressources limitées.

L'écrivain du projet a eu pour mission d'écrire, dans un format technique et abstrait, du matériau narratif qui à la fois représente la réalité quotidienne du public cible et propose des situations intéressantes sur le plan pédagogique. Avant d'exposer le fruit de ce travail (Section 4.3), précisons que cette écriture est un jeu constant entre la réalité des situations vécues et la fiction recréée pour les besoins de la simulation narrative. Notre première démarche a été de rassembler du matériau sur cette réalité, à partir de trois sources : transcriptions de discussions antérieures avec les jeunes concernés, rencontres avec des jeunes lors de groupes de discussion organisés par des associations d'aide et enfin interviews individuels avec des jeunes ayant un parent cérébro-lésé. Malgré tout, ce matériau s'est avéré insuffisant pour reconstruire un

scénario complet, ce qui a amené l'écrivain à inventer des situations et événements. Au final, les situations narratives proposées sont donc un mélange entre des éléments réels et des éléments fictionnels.

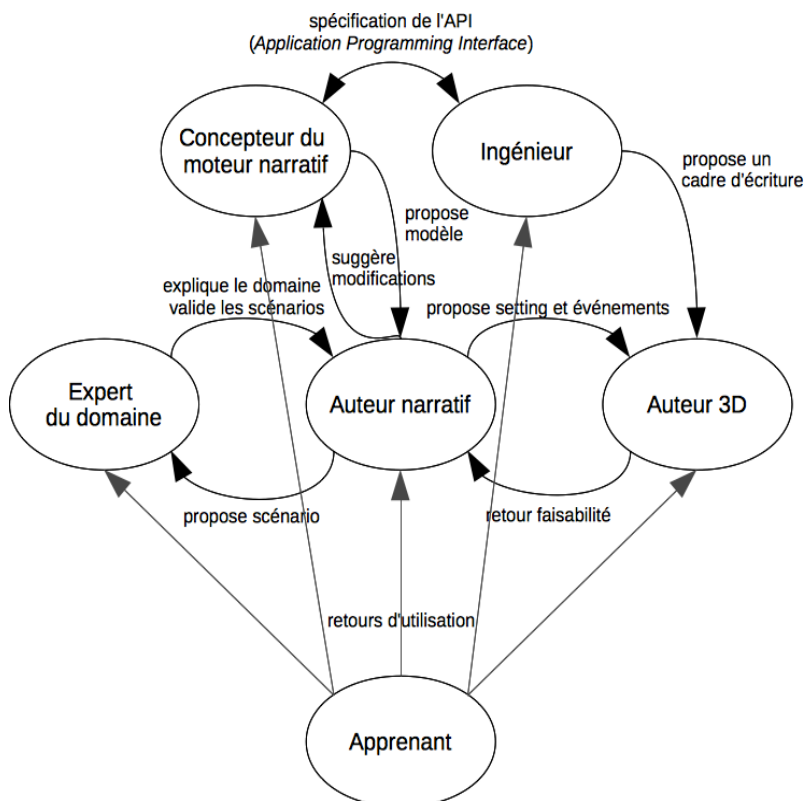


Figure 1 • Les différents rôles dans la conception d'une simulation narrative et leurs interactions

En accompagnement de ce processus, l'expert du domaine a suivi de près l'élaboration des scénarios, au départ pour transmettre les éléments pédagogiques à insérer, puis pour valider ou invalider les situations et les dialogues.

4.2. Le scénario

L'écriture narrative consiste à décrire, indirectement, tout ce qui peut se passer dans le jeu, sous la forme de données XML représentant les constituants du modèle narratif (personnages, objectifs, tâches, obstacles,

etc.). À chacun d'eux sont associés des éléments de texte pour la génération du dialogue, édités dans un tableur. Le scénario ainsi élaboré s'intitule « *Nothing For Dinner* » (NFD). Ce contenu narratif serait trop long à reproduire ici et difficile à appréhender, mais nous pouvons le résumer comme suit.

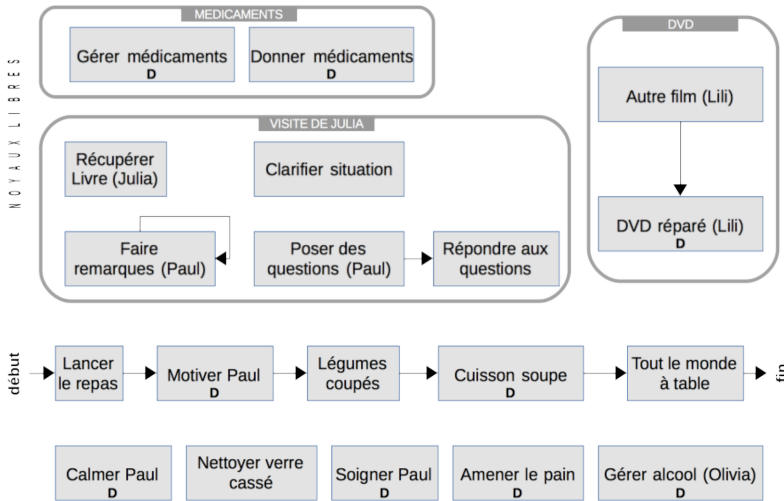


Figure 2 • Représentation simplifiée des objectifs du scénario (voir texte)

Six personnages composent l'histoire : Frank, un adolescent de 16 ans contrôlé par le joueur, Paul, son père atteint d'un traumatisme crânien, Olivia la grand-mère, Lili, la jeune sœur, Julia, une camarade de classe et Martina, la mère de Frank. Au début de l'histoire, la famille est à la maison, sauf Martina, qui a demandé à Frank de préparer le repas car elle arrivera tard. Cette préparation du repas se traduit par un enchaînement de plusieurs sous-objectifs : motiver Paul, couper les légumes, faire cuire la soupe, mettre la table, appeler tout le monde à table et aller à table. D'autres objectifs peuvent apparaître de manière collatérale : calmer Paul (qui s'est énervé, par exemple, si on a voulu faire le repas tout seul), soigner Paul (qui s'est blessé en coupant les légumes), nettoyer les débris de verre (quand Paul a cassé un bol), régler le problème d'alcool (car Paul boit du vin alors qu'il est sous traitement). Par ailleurs, trois événements (noyaux) vont surgir dans l'histoire (dans un ordre variable), qui vont amener encore d'autres objectifs en parallèle : Lili veut regarder un DVD mais n'y

arrive pas, la mère appelle au téléphone pour dire à Frank de faire prendre ses médicaments à Paul, et Julia vient récupérer son livre de physique. Cette dernière sous-intrigue amène plusieurs nouveaux objectifs pour le joueur, comme répondre aux questions de Paul sur Julia, réagir aux remarques désobligeantes de Paul, expliquer à Julia la situation familiale. La figure 2 représente ces objectifs du scénario. La plupart sont portés initialement par Frank, le personnage du joueur, sauf quand le porteur de l'objectif est précisé entre parenthèses. La lettre « D » indique que les objectifs peuvent être délégués entre personnages. La ligne centrale représente la composante linéaire du récit (à ce niveau d'abstraction tout du moins), tandis que les « noyaux libres » en haut du schéma sont déclenchés selon des contraintes narratives (voir la section 3.1) et que les autres objectifs en bas sont déclenchés selon des conditions sur le monde de l'histoire.

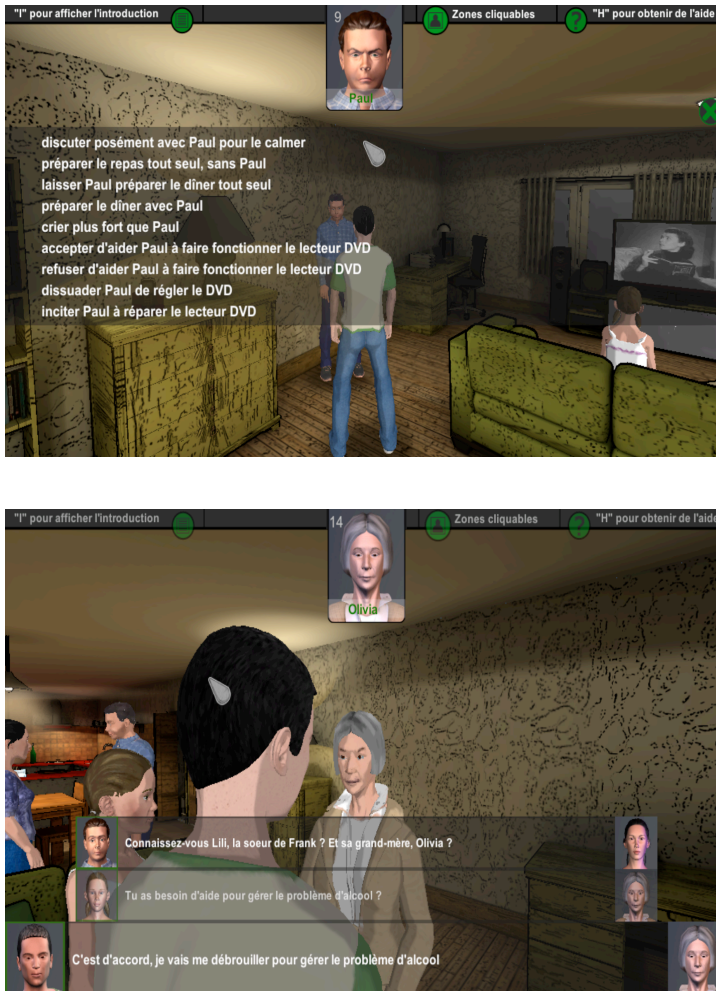
Cette structure en objectifs ne représente qu'une partie de l'histoire, puisque chaque objectif peut être atteint par une tâche ou plusieurs tâches alternatives. Par exemple, pour calmer Paul, on peut soit crier plus fort que lui, soit le calmer en parlant posément, soit partir en attendant qu'il se calme. Ces trois attitudes correspondent à trois attitudes typiques répertoriées en psychologie clinique : antisociale, prosociale, asociale (Dumas et Moreland, 2007) ; c'est à ce niveau notamment qu'on insère le contenu pédagogique. Si l'une des solutions est préconisée (l'attitude prosociale correspondant ici au fait de parler posément), les autres peuvent fonctionner aussi : crier plus fort que Paul a 20 % de chance de fonctionner. Cet aspect probabiliste met en scène, de manière certes un peu simpliste, le fait que la réalité est complexe et imprévisible.

On rappellera enfin que, via la décomposition en deux niveaux mentionnée en 3.1, les éléments narratifs écrits par l'auteur se combinent avec les actes narratifs génériques pour produire des actions spécifiques d'une grande variété. Par exemple, quand Frank dit à sa grand-mère Olivia : « grand-maman, j'aurais besoin de ton aide. Tu pourrais calmer Paul ? », cela correspond à l'application de l'action générique « demander de l'aide » à la tâche « calmer Paul ». Si Olivia accepte, l'objectif de Frank de calmer Paul se recopie pour Olivia, tandis qu'il est mis en veille chez Frank.

On le constate, le scénario possède une certaine complexité, pour fournir un temps de jeu de 20 à 40 minutes. Mais cette complexité est à relativiser : ces quelques éléments narratifs, en se recombinaient, produisent

**Nicolas SZILAS, Jean DUMAS,
Urs RICHLE, Nicolas HABONNEAU**

un grand nombre de variantes d'histoire qu'il serait extrêmement fastidieux à écrire explicitement. À l'inverse, un jeu comme *Heavy Rain*, qui fonctionne par embranchements, est décrit à l'aide d'un scénario de 2000 pages. La figure 3 reproduit deux copies d'écrans de *NFD*.



**Figure 3 · Copies d'écrans de *Nothing For Dinner*.
En haut, la liste des actions possibles avec Paul, qui est énervé
(icône en haut). En bas, alors que Frank parle à Olivia, d'autres
conversations se déroulent en parallèle (lignes plus étroites)**

5. Évaluation

Pour des raisons pratiques (difficultés à trouver suffisamment de sujets dans la population cible), une évaluation clinique du produit mesurant le gain d'apprentissage, n'a pas été possible. Néanmoins, nous avons souhaité évaluer :

- les qualités expérientielles du produit : en tant que récit interactif, indépendamment des questions d'apprentissage, la simulation proposée a-t-elle des qualités suffisantes pour motiver le jeune, sur les plans ludique, narratif, et interactif ?
- l'impact perçu : les utilisateurs ont-ils l'impression que le produit peut les aider à gérer les situations difficiles de leur quotidien ? Comme facteur indirect d'apprentissage, nous avons aussi souhaité évaluer si les situations reproduites dans la simulation étaient familières ou plausibles.

5.1. Méthode

Les participants, au nombre de 22 (dont 11 filles), ont été recrutés en Suisse romande (francophone), via différents réseaux et associations. Tous étaient ou avaient été récemment dans une situation analogue à la simulation, à savoir dans une famille où un des membres (généralement le père ou la mère) est cérébro-lésé, suite à un traumatisme crânien ou une attaque cérébrale. Leur âge variait entre 7 ans et 24 ans ($M=17,5$ ans ; $\sigma=4.8$). Leur participation était rémunérée. Cette tranche d'âge est plus large que la population initialement ciblée (adolescents), car nous manquions de sujets dans la tranche initiale. On notera aussi que le deuxième enfant le plus jeune avait déjà 10 ans.

Lors d'une session unique, le participant était accueilli individuellement par l'expérimentateur, présent durant toute la durée de l'expérience. Après avoir été informé des buts de la recherche et signé le consentement, il remplissait un premier questionnaire pour les données démographiques, puis deux questionnaires psychologiques : le *Cognitive Emotional Regulation Questionnaire (CERQ)*, destiné à mesurer les stratégies de régulation des individus confrontés à un événement traumatique (Garnefski et Kraaij, 2001), (d'Acromont et Van der Linden, 2007), composé de 36 questions, et le *Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ)*, destiné au dépistage comportemental, composé de 25 questions (<http://www.sdqinfo.org/>). Une version du questionnaire SDQ a aussi été administrée au parent accompagnant, le cas échéant.

Ensuite, le sujet visionnait la vidéo d'aide à l'utilisation, complétée par des explications de l'expérimentateur. Le participant interagissait ensuite avec la simulation (version française) pendant 30 minutes maximum, ou moins s'il avait atteint la fin du scénario (tous les personnages assis qui commencent le repas). Certains sujets pouvaient donc ne pas aller jusqu'au bout du scénario. L'expérimentateur n'intervenait que sur des questions techniques ou d'utilisation, mais répondait en évitement aux questions relatives à l'histoire. Pendant ce temps-là, le parent bien portant, s'il était présent, remplissait le questionnaire SDQ destiné aux proches de l'adolescent concerné (parents, professeurs, etc.). Enfin, le participant remplissait deux questionnaires, décrits ci-dessous.

(1) Questionnaire *IRIS* adapté: Le questionnaire *IRIS* a été réalisé spécifiquement pour évaluer les récits interactifs (Roth *et al.*, 2011, 2012). Il est constitué d'un certain nombre d'items, portant sur différentes dimensions perceptives de ce type de produit: utilisabilité, satisfaction, crédibilité des personnages, autonomie (possibilités d'agir), curiosité, suspense, *flow*, plaisir esthétique, *enjoyment*, affect (engagement affectif, positif et négatif), identification. Chacun de ces items est construit à l'aide de plusieurs questions, auxquelles le participant répond via une échelle de Likert à 5 niveaux (pas du tout d'accord, pas d'accord, un peu d'accord, d'accord, tout à fait d'accord). Ces échelles ont été déjà utilisées sur plusieurs récits interactifs et jeux vidéo. Pour cette étude, le questionnaire *IRIS* a été doublement adapté: d'une part, il a fallu le traduire en français; d'autre part, il a fallu l'adapter à une population plus jeune et moins érudite que les étudiants universitaires utilisés dans la majorité des expériences de recherche en psychologie. Nous avons aussi ajouté à ce questionnaire trois questions ouvertes générales sur leur expérience: points forts, points faibles et suggestions d'amélioration.

(2) Questionnaire d'impact: conçu spécifiquement pour cette étude, il mesure la perception des participants concernant la plausibilité des situations, leur familiarité avec les situations expérimentées et leurs apprentissages (voir tableau 2). Ce questionnaire ne mesure donc pas l'apprentissage effectif, mais le *sentiment d'apprentissage*, c'est-à-dire la vision subjective de l'apprenant sur son apprentissage. Cinq autres questions concernent les causes perçues de cet apprentissage ou non apprentissage (qualité des situations, qualité des dialogues, possibilité de choix, utilisabilité, graphisme, sur une échelle de Likert à 5 niveaux). En complément, des questions ouvertes avaient pour objectif de collecter des informations qualitatives sur ces aspects liés à l'impact.

Pour chaque question et item, nous avons calculé les moyennes et écarts-types des scores entre 1 et 5. Pour les items, composés de plusieurs questions, nous avons calculé le coefficient α de Cronbach, pour vérifier la cohérence interne des items. Celle-ci avait été établie par les créateurs du questionnaire, mais notre adaptation du test pouvait la remettre en cause. Les données des réponses ouvertes n'ont pas été traitées statistiquement, mais elles ont servi lors de l'interprétation des résultats.

En complément à ces analyses, le système a enregistré des traces pour chaque session de jeu, et calculé 4 indicateurs à partir de ces traces :

- le nombre de choix proposés à l'utilisateur, en moyenne pour toute la session ;
- le nombre total d'actions dans la session (actions du joueur et des personnages non joueurs) ;
- le nombre d'actions du joueur dans la session ;
- la durée de jeu.

5.2. Résultats

5.2.1. Questionnaires psychologiques

Pour chacun des deux questionnaires psychologiques destinés à l'utilisateur (CERQ et SDQ), des échelles ont été construites pour caractériser l'adolescent selon un certain nombre de critères (respectivement 9 et 5). De plus, des échelles plus larges ont été construites concernant :

- gestion pro-sociale (*prosocial coping*) - 10 items du CERQ,
- gestion dysfonctionnelle (*dysfunctional coping*) - 15 items du CERQ,
- maîtrise positive des émotions (*positive emotion regulation*) - 20 items du SDQ,
- maîtrise négative des émotions (*negative emotion regulation*).

Les cohérences internes de ces 4 indicateurs sont présentées dans le tableau 1. Trois de ces échelles ont une cohérence satisfaisante, tandis qu'une d'entre elles a une cohérence basse.

Tableau 1 • Résultats sur les questionnaires CERQ et SDQ, pour 22 sujets

Item (questionnaire)	Nb Items	α Cronbach
<i>Prosocial coping</i> (SDQ)	10	.54
<i>Dysfunctional coping</i> (SDQ)	15	.81
<i>Positive emotion regulation</i> (CERQ)	20	.72
<i>Negative emotion regulation</i> (CERQ)	36	.76

Tableau 2 • Résultats sur le questionnaire IRIS, pour 22 sujets

Item (nb questions)	α Cronbach	Min.	Max.	Moyenne	Écart type
Utilisabilité (3)	.87	2.00	5.00	4.16	.91
Curiosité (3)	.79	2.33	5.00	4.02	.76
Suspense (4)	.74	1.50	4.25	3.26	.78
Flow (5)	.61	2.20	4.60	3.41	.63
Plaisir esthétique (3)	.76	1.00	4.00	2.73	.81
Enjoyment (2)	.77	1.50	5.00	3.48	.88
Satisfaction (2)	.62	1.50	5.00	3.61	.91
Identification (3)	.63	1.00	4.00	3.11	.81
Crédibilité (2)	.25	1.50	4.50	3.27	.83
Autonomie (2)	.54	2.00	5.00	3.86	.79
Affect positif (3)	.83	1.66	5.00	3.12	.83
Affect négatif (3)	.66	1.00	3.33	1.82	.75

**Tableau 3 • Résultats pour le questionnaire d'impact
pour 21 sujets**

Question	Min.	Max.	Moy.	Écart type
Les situations rencontrées dans l'histoire m'ont semblé plausibles, ce qui se passe peut tout à fait arriver à de vrais gens dans la vie	3	5	4.24	.77
Les situations rencontrées me sont familières, proches de ce que je vis à la maison	1	5	2.67	.97
J'ai le sentiment d'avoir appris quelque-chose en jouant avec l'histoire de Frank et de sa famille	2	4	3.10	.89
Je pense pouvoir me servir de l'histoire de Frank et de sa famille pour améliorer ma vie de tous les jours	1	4	2.67	.97

Tableau 4 • Indicateurs issus des traces pour 22 sujets

Question	Min.	Max.	Moy.	Écart type
Nombre de choix	13.8	32.4	22.6	5.63
Nombre d'actions	41	119	78.5	20.6
Nombre d'actions du joueur	16	54	32.9	8.43
Durée (secondes)	931	1874	1505	264

Concernant les questionnaires pour le parent bien portant (SDQ), il a été rempli par 15 participants sur 22, car les parents n'accompagnaient pas systématiquement leurs enfants. L'analyse de cohérence interne donne un coefficient α de Cronbach de 0.551 pour l'échelle « *prosocial coping* » (10 items) et de 0.790 pour l'échelle « *dysfunctional coping* » (15 items). Comme

pour le questionnaire destiné aux participants, l'échelle « *prosocial coping* » montre donc une faible cohérence interne.

5.2.2. Questionnaires IRIS

Les résultats concernant le questionnaire *IRIS* sont présentés dans le tableau 2. Sur les 10 items testés (35 questions), 8 ont une cohérence bonne ou acceptable (α de Cronbach entre 0.61 et 0.87), tandis qu'un item a une cohérence moyenne (0.54 pour l'autonomie) et un autre une cohérence très faible (0.25 pour la crédibilité). Ce dernier item ne sera donc pas pris en compte dans le cadre de cette étude. Sur les 9 items retenus, 6 ont une moyenne entre 3 et 4, correspondant à des réponses entre un peu d'accord et d'accord, 2 (curiosité et utilisabilité) ont une moyenne supérieure à 4 et un item (plaisir esthétique) a une moyenne inférieure à 3.

5.2.3. Questionnaire d'impact

Les résultats du questionnaire d'impact sont reproduits dans le tableau 3. Un participant a été retiré de cette analyse, car il a coché des valeurs extrêmes sur les échelles (1 ou 5 sur 12 des 13 questions) et a commenté qu'il n'avait pas compris les questions. Les participants restant ont jugé la simulation narrative très plausible (4.21) et globalement plutôt éloignée de leur situation réelle (2.67). Les deux scores concernant le sentiment d'apprentissage sont moyens (3.10 et 2.67).

5.2.4. Traces

Le tableau 4 résume les valeurs obtenues pour chacun des 4 indicateurs issus des traces. Par ailleurs, sur les 22 sujets, 13 ont terminé le scénario.

5.2.5. Corrélations

Tableau 5 • Corrélations concernant le questionnaire d'impact (21 sujets)

Question (impact)	Item corrélé	Corrélation	Sig.
Plausibilité	Curiosité (IRIS)	.460	.036
Plausibilité	Satisfaction (IRIS)	.559	.008
Familiarité	Flow (IRIS)	.531	.013
Familiarité	Utilisabilité (IRIS)	.487	.025
Sentiment d'apprentissage	Qualité esthétique (IRIS)	.625	.002
Sentiment d'apprentissage	Nombre de choix (traces)	.525	.014
Sentiment d'utilité	Utilisabilité (IRIS)	.560	.008

Nous avons calculé les corrélations entre le résultat du questionnaire d'impact et les autres items (échelles *IRIS* et indicateurs issus des traces) sur 21 sujets. Les données étant non paramétriques, nous avons utilisé la corrélation de Spearman. Le tableau croisé à 20 entrées ne sera pas présenté ici, mais uniquement les sept corrélations significatives, dans le tableau 5.

Nous avons aussi calculé les corrélations entre les échelles issues des tests psychologiques (SDQ et CECR) et les autres items (échelles *IRIS* et indicateurs issus des traces) sur 17 sujets, un certain nombre de sujets n'ayant pas rempli les questionnaires concernés. Aucune corrélation significative n'a pu être observée.

À noter que d'autres corrélations ont été observées, mais elles ne concernent pas les liens entre les questions du questionnaire d'impact et les autres échelles/indicateurs.

5.3. Discussion

Les résultats obtenus sur les échelles *IRIS* sont très encourageants puisque sur les 9 items retenus, 7 ont un score supérieur à 3 (« plutôt d'accord »). Dans le tableau 6, nous avons comparé les scores obtenus, sur les items communs entre notre expérience sur *Nothing For Dinner* et d'autres études portant sur d'autres récits interactifs : une scène du jeu vidéo commercial *Fahrenheit* (Roth *et al.*, 2011), *Façade*, le premier « drame interactif » jouable (Mateas et Stern, 2003 ; Roth *et al.*, 2011) et deux versions de *EmoEmma*, prototype de drame interactif en environnement immersif de type *CAVE* (Pizzi *et al.*, 2007 ; Roth *et al.*, 2012). Même si aucun test de significativité n'a pu être fait, on constate que pour 3 échelles sur 6 (curiosité, flow et plaisir esthétique), *NFD* a obtenu un score plus haut que tous les autres systèmes. Seul le suspense a un score plus faible. On relativisera néanmoins cette comparaison, car les questionnaires utilisés sont légèrement différents (traduction et adaptation à un public moins érudit, voir plus haut).

Le score élevé sur l'utilisabilité est encourageant, car *NFD* propose un nombre important de choix à l'utilisateur (une trentaine en moyenne) sous forme de menus, ce qui aurait pu le défavoriser sur le plan ergonomique. Le fait que les utilisateurs étaient des adolescents, généralement habitués aux jeux vidéo, a certainement influencé ce critère.

Tableau 6 • Comparaison de NFD avec différents systèmes évalués selon le questionnaire IRIS (Roth et al., 2011, 2012)

Item	NFD	Fahrenheit	Façade	Emo Emma1	Emo Emma2
Curiosité	4.02	3.58	3.49	3.59	3.86
Suspense	3.26	3.33	3.5	3.61	3.49
Flow	3.40	2.95	3	3.09	3.31
Esthétique	2.73	2	2.45	2.33	2.44
Enjoyment	3.48	2.94	2.86	3.68	3.69
Utilisabilité	4.16	3.11	3.93	4.11	4.22

Un autre aspect important pour ce type de systèmes est l'échelle dénommée « autonomie », qui correspond à la notion de « *agency* » dans le domaine du récit interactif, à savoir la possibilité d'influencer véritablement le déroulement de l'histoire. On observe un score tout à fait acceptable, 3,86, même si la fiabilité de cette échelle avec deux items est basse (0,54). Pour l'un des deux items de cette échelle, « J'ai remarqué qu'il y avait de nombreuses possibilités d'influencer l'histoire », la moyenne des réponses est de 4, ce qui signifie que les adolescents ont été, en moyenne, d'accord avec l'affirmation ci-dessus.

Concernant le questionnaire d'impact, la forte plausibilité retient notre attention. Elle valide le processus d'écriture décrit en section 4, puisque même si la plupart des événements sont purement fictionnels, ils ne sont pas perçus comme tels. Le recours au fictionnel, au départ lié au manque de données sur le réel (section 4.2), s'avère, dans notre cas, tout aussi efficace pour transmettre un sentiment de plausibilité. Cela illustre le fait qu'une simulation pédagogique ne doit pas nécessairement adopter une démarche systématique de modélisation de l'expérience vécue par les utilisateurs si elle veut paraître plausible. Ainsi, nous n'avons pas eu besoin de programmer un modèle du patient ni un modèle social d'interaction familiale pour mettre l'utilisateur dans un environnement plausible.

Dans cette opposition fiction/réel, la fiction, assimilée dans le sens commun au récit, est prise ici dans son sens de *fiction mimétique* (Caïra, 2011), dans la mesure où nous avons mis en évidence que les événements représentés n'ont pas existé (ou alors, ce serait « pure coïncidence »). Mais, dans notre méthodologie de conception, la dimension narrative intervient aussi : l'auteur avait pour mission de *mettre en intrigue*, d'emporter l'apprenant dans une histoire. On peut émettre l'hypothèse que c'est aussi cette dimension qui a suscité le sentiment de plausibilité. Le récit, en tant

que constituant fondamental de notre mémoire, donne un sentiment de réel même quand il est fictionnel.

On remarquera aussi dans nos résultats le contraste entre la forte plausibilité et la familiarité plus faible (2.67). La simulation narrative ne couvre donc qu'un ensemble réduit des situations que les participants ont vécues. En observant les réponses aux questions ouvertes correspondantes (« précisez quelles situations vous sont/ne vous sont pas familières »), on constate cependant que tous les sujets sauf un mentionnent des situations de la simulation qui leur sont familières. Les situations non familières quant à elles reflètent la diversité des situations réelles : « la présence de la grand-mère à la maison », « mon père ne boit pas d'alcool », « que je doive m'occuper de tout », etc. Cette diversité est à mettre en relation avec l'écart type élevé sur la familiarité (.966). On pourrait tenter d'augmenter cette familiarité, en ajoutant du contenu (qui peut être collecté auprès de sujets participants, selon une approche centrée utilisateur) et en travaillant sur des mécanismes de personnalisation. Mais selon nous, la plausibilité reste le critère principal, puisqu'elle permet à l'apprenant d'adhérer à la simulation et de s'y engager.

Les corrélations que l'on observe entre la plausibilité et la curiosité, et surtout la satisfaction, tendent à montrer que cette perception de la part des adolescents de la plausibilité des situations rencontrées joue un rôle important dans leur perception globale de l'expérience, puisque les participants qui « ne croient pas » aux situations vécues tendent à être ceux qui sont moins satisfaits. Cela rejoint l'un des concepts fondateurs du domaine des agents conversationnels, la « *believability* », qui pose que pour rendre un personnage expressif et crédible, il faut plutôt rechercher à construire des personnages crédibles que réalistes (Loyall, 1997). Nos résultats étendent ce principe aux situations elles-mêmes, que la construction narrative a rendues expressives aux yeux de l'utilisateur.

Le sentiment d'apprentissage reste cependant modéré (3.1/5). Il est vrai qu'avec une seule session de 30 minutes, on ne peut pas nécessairement s'attendre à obtenir un effet important. Pour les 8 participants qui néanmoins ont répondu au moins « un peu d'accord » à la question « J'ai le sentiment d'avoir appris quelque-chose », il est intéressant de relever les réponses à la question ouverte complémentaire : « précisez ce que vous pensez avoir appris. ». Certaines réponses se rapportent à des éléments spécifiques à l'histoire en question sans concerner directement le participant lui-même (par exemple « que les papas peuvent être têtus

longtemps »). À l'inverse, une réponse évoque un impact personnel sur le participant : «[...] Je devrais rester plus calme ». Enfin, deux réponses correspondent à l'objectif pédagogique fixé, en ce qui concerne le comportement prosocial (cf. Section 1) : celle que nous venons de citer et « il faut toujours aider les autres ». Il serait intéressant de comprendre ce qui caractérise ces participants, question que l'on peut aborder en analysant les corrélations entre le score donné à la question ci-dessus sur le sentiment d'apprentissage et d'autres critères de l'expérience interactive. Celui-ci s'avère corrélé avec le nombre de choix proposés en moyenne au participant. Rappelons ici que la simulation proposée a cela d'unique qu'elle immerge le participant dans un mode fictionnel dans lequel il a beaucoup de possibilités d'action, en tout cas d'avantage que dans les jeux sérieux habituels (Szilas, 2007), (Szilas et Ilea, 2014). Sur l'ensemble des sessions pour les 22 sujets, ce sont en moyenne 22.7 choix possibles qui étaient proposés à l'utilisateur, mais ce nombre varie entre les sessions, de 13.8 à 22.6, selon les situations rencontrées par le joueur (voir le tableau 4). Par exemple, et c'est le cas pour le participant qui a eu 13.8 choix en moyenne, le participant a réussi à terminer le jeu sans qu'un noyau riche en opportunités d'action ne se déclenche, la visite de Julia. On peut donc interpréter la corrélation entre le sentiment d'apprentissage et le nombre de choix moyen de différentes manières : soit un large panel d'actions amène l'apprenant davantage à s'interroger sur les options possibles et donc à avoir le sentiment d'avoir appris davantage ; soit, le nombre de choix étant lié aux parties du scénario explorées (noyaux), c'est la présence ou non de ces contenus qui est le facteur déterminant. Une analyse plus poussée sur le contenu exploré par chacun des participants pourrait permettre de répondre à cette question. Par ailleurs, la corrélation positive observée entre le sentiment d'apprentissage et l'appréciation des qualités esthétiques de *Nothing For Dinner* n'était pas attendue, sachant que d'autres qualités expérientielles telles que la curiosité ou le flow n'ont pas montré de corrélations avec le sentiment d'apprentissage, alors qu'existeraient des interprétations souvent avancées pour justifier de telles corrélations. On peut interpréter ce résultat en considérant que les qualités esthétiques d'un logiciel de formation ont un impact émotionnel sur l'apprenant, dont on sait qu'il influence l'apprentissage (Mazzietti et Sander, 2015). Cela tend ainsi à renforcer l'idée d'une interdépendance forte entre les émotions et la cognition, en matière d'apprentissage notamment. Les qualités esthétiques auraient une influence sur la motivation, qui elle-même favoriserait le sentiment d'apprentissage (que nous avons mesuré), dont

on suppose qu'il est lié à l'apprentissage lui-même (que nous n'avons pas mesuré).

Le sentiment d'utilité, que nous avons mesuré au travers de la question « Je pense pouvoir me servir de l'histoire de Frank et de sa famille pour améliorer ma vie de tous les jours », est resté faible (2.76/5). Pour les 4 participants qui ont répondu au moins « d'accord » à la question plus centrée sur le participant « Je pense pouvoir me servir de l'histoire de Frank et de sa famille pour améliorer ma vie de tous les jours », on observe de même leur réponse à la question ouverte complémentaire. On constate que 3 d'entre eux mentionnent plutôt un renforcement d'une connaissance existante (« C'est toujours bien de se rappeler que... », « Continuer à... », « ça me fait réaliser encore plus que... »), tandis que le 4ème reprend le constat cité ci-dessus (« Je devrais rester un peu plus calme »). On peut alors supposer que seuls les sujets déjà assez « mûrs » sur la situation parviennent à avoir le recul nécessaire pour percevoir l'apport de *NFD*, sauf si la situation les a concernés directement (forte familiarité). Les 4 sujets en question ont d'ailleurs un âge supérieur à 16 ans. L'ajout de la phase de débriefing pourrait aider les autres participants à mieux extraire une connaissance générale à partir des histoires particulières qu'ils ont vécues dans *NFD*. On constate par ailleurs que le sentiment d'utilité est corrélé avec l'utilisabilité, mesurée par questionnaire, mais pas avec d'autres mesures. À nouveau, ce résultat est surprenant, dans la mesure où l'utilisabilité est considérée comme un prérequis aux autres qualités de l'expérience mesurées par le questionnaire *IRIS*, notamment celles liées à la dimension narrative (le suspense, la curiosité) et on aurait pensé que celles-ci seraient davantage liées au sentiment d'utilité, par le lien récit-apprentissage. On notera aussi que l'utilisabilité mesurée est en moyenne élevée, alors que le sentiment d'utilité est faible. Il semblerait donc que l'utilisabilité du système soit un paramètre très important pour optimiser l'utilité de la simulation narrative, même si ce sont d'autres aspects qui permettent réellement d'avoir un impact sur le comportement, étant donné le faible score global du sentiment d'utilité.

6. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article un nouveau type de simulations pédagogiques pour l'apprentissage de comportements interpersonnels, favorisant une approche narrative et utilisant une technologie avancée pour gérer la dynamique du récit. La simulation narrative a été testée sur 22 sujets de la population cible, qui ont évalué positivement leur

expérience de jeu. Le sentiment d'apprentissage quant à lui est resté modéré. L'analyse qualitative des réponses aux questions ouvertes montre d'une part une grande diversité des impacts perçus et d'autre part suggère deux pistes classiques d'amélioration : l'incorporation d'un débriefing pour faire prendre conscience des apports généraux de la simulation et la personnalisation des situations, pour augmenter la familiarité. Par ailleurs, la richesse du récit proposé semble avoir eu un impact allant au-delà des objectifs pédagogiques initialement prévus. Cela nous amène à suggérer qu'une analyse de l'effet d'apprentissage de ce type de simulation doit inclure le maximum de dimensions.

Remerciements

Ces travaux de recherche ont été financés par le Fonds National de la Recherche Suisse, via le projet « TBI-SIM » (co-dirigé par J. Dumas et N. Szilas).

BIBLIOGRAPHIE

D'ACREMONT, M. et VAN DER LINDEN, M. (2007). How is impulsivity related to depression in adolescence? Evidence from a French validation of the cognitive emotion regulation questionnaire. *Journal of Adolescence*, 30(2), 271-282. <http://doi.org/10.1016/j.adolescence.2006.02.007>

ADAM, J.-M. (1994). *Le texte Narratif*. Paris, France : Nathan.

ALLAIN, S. et SZILAS, N. (2012). Exploration de la métalepse dans les " serious games " narratifs. *Sciences et Technologies de l'Information et de La Communication Pour l'Éducation et La Formation*, 19, 1-14.

AT-RISK IN THE ED (2017). Récupéré de <http://store.kognito.com/products/at-risk-ed>

AYLETT, R. S., LOUCHART, S., DIAS, J., PAIVA, A. et VALA, M. (2005). FearNot! - an experiment in emergent narrative. Dans T. Panayiotopoulos, J. Gratch, R. Aylett, D. Ballin, P. Olivier et T. Rist (dir.), *Intelligent Virtual Agents* (Vol. 3661, p. 305-316). Heidelberg, Allemagne : Springer. <http://doi.org/10.1007/11550617>

BARBER, H. et KUDENKO, D. (2007). Dynamic generation of dilemma-based interactive narratives. Dans *Proc. Third Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE)* (p. 2-7). Menlo Park, CA : AAAI Press.

BRUNER, J. (1991). The narrative construction of reality. *Critical Inquiry*, 18, 1-21.

CAÏRA, O. (2011). Définir la fiction : Du roman au jeu d'échecs. Paris, France : EHESS.

**Nicolas SZILAS, Jean DUMAS,
Urs RICHLÉ, Nicolas HABONNEAU**

CRAWFORD, C. (2012). *Chris Crawford on Interactive Storytelling (2nd Edition)*. Indianapolis, IN : New Riders.

DE JONG, T. et VAN JOOLINGEN, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. <http://doi.org/10.3102/00346543068002179>

DUMAS, J. E. et MORELAND, A. (2007). Let's talk about competent children for a change. Dans H. Grietens, E. J. Knorth, P. Durning et J. E. Dumas (dir.), *Promoting competence in children and families. Scientific perspectives on resilience and vulnerability*. Leuven, Belgique : KUL Press.

EHPAD'PANIC (2017). Retrieved from <http://www.ehpad-panic.com/>

FANNING, R. M. et GABA, D. M. (2007). The role of debriefing in simulation-based learning. *Simulation in Healthcare: Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 2(2), 115-25. <http://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3180315539>

GREDLER, M. E. (2004). Games and simulations and their relationships to learning. Dans D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology* (Vol. 2, p. 571-582). Mahwah, NJ: Erlbaum. <http://doi.org/10.1080/08935690701571045>

HAPPY NIGHT (2017). Repéré à <http://www.secrethappynight.com/>

JACKSON, P. W. (1995). On the place of narrative in teaching. Dans H. McEwan et K. Egan (dir.), *Narrative in teaching, learning and research* (p. 3-23). New York, NY : Teachers College Press.

JONES, M. G. (1998). Creating engagement in computer-based learning environments. Dans *Instructional Technology Forum*. Repéré à <http://it.coe.uga.edu/itforum/paper30/paper30.html>

KNEAFSEY, R. et GAWTHORPE, D. (2004). Head injury: Long-term consequences for patients and families and implications for nurses. *Journal of Clinical Nursing*, 13, 601-608.

KREUTZER, J. S., KOLAKOWSKY-HAYNER, S. A., DEMM, S. R. et MEADE, M. A. (2002). A structured approach to family intervention after brain injury. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(4), 349-367. article.

KRIZ, W. C. (2010). A Systemic-Constructivist Approach to the Facilitation and Debriefing of Simulations and Games. *Simulation & Gaming*, 41(5), 663-680. <http://doi.org/10.1177/1046878108319867>

LOYALL, A. B. (1997). *Believable Agents: Building Interactive Personalities* (PhD thesis). Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.

MALONE, T. W. et LEPPER, M. R. (1987). Making learning fun: a taxonomy of intrinsic motivations for learning. Dans R. E. Snow et M. J. Farr (dir.), *Aptitude, Learning, and Instruction, III: Cognitive and Affective Process Analysis* (p. 223-253). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

MARSELLA, S. C., JOHNSON, W. L. et LABORE, C. (2000). Interactive pedagogical drama. Dans *Proceedings of the fourth international conference on Autonomous agents - AGENTS '00* (p. 301-308). New York, NY: ACM Press. <http://doi.org/10.1145/336595.337507>

MATEAS, M. et STERN, A. (2003). Integrating Plot, Character and Natural Language Processing in the Interactive Drama Façade. Dans S. Göbel, N. Braun, U. Spierling, J. Dechau et H. Diener (dir.), *Proceedings of the Technologies for Interactive*

Digital Storytelling and Entertainment (TIDSE) Conference (p. 139-151). Darmstadt, Allemagne : Fraunhofer IRB.

MAZZIETTI, A. et SANDER, D. (2015). Les émotions au service de l'apprentissage : Appraisal, pertinence et attention émotionnelle. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 27(139), 537-544.

MCCOY, J., TREANOR, M. et SAMUEL, B. (2011). Prom Week: social physics as gameplay. Dans C. Rich, K. Isbister et M. Cavazza (dir.), *Proceedings of the 6th International Conference on Foundations of Digital Games* (p. 319-321). New York, NY : ACM.

MOLNAR, A., FARRELL, D. et KOSTKOVA, P. (2012). Who Poisoned Hugh? --- The STAR Framework: Integrating Learning Objectives with Storytelling. Dans D. Oyarzun, F. Peinado, R. M. Young, A. Elizalde et G. Méndez (dir.), *Fifth International Conference on Interactive Digital Storytelling (ICIDS)*. LNCS, 7648 (Vol. 7648, p. 60-71). inproceedings, Heidelberg: Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-642-34851-8_6

MOTT, B. W. et LESTER, J. C. (2006). Narrative-Centered Tutorial Planning for Inquiry-Based Learning Environments. Dans *Proceedings of ITS 2006*. LNCS 4053 (p. 675-684). Heidelberg: Springer.

MURRAY, J. H. (1997). *Hamlet on the Holodeck: The Future of Narrative in Cyberspace*. New York, NY : Free Press.

PIZZI, D., CHARLES, F., LUGRIN, J. et CAVAZZA, M. (2007). Interactive Storytelling with Literary Feelings. Dans A. C. R. Paiva, R. Prada et R. W. Picard (dir), *Proceedings of the 2nd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction*, LNCS 4738 (p. 630-641). Berlin, Allemagne: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-540-74889-2>

PROPP, V. (1928). *Morphologie du conte*. Paris, France : Seuil.

RANKIN, P. J. (1995). Research into content generation - interactive drama. Dans *Proceedings of IEE Colloquium on Interactive Television* (p. 1-6). Institution of Engineering and Technology. Repéré à http://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/ic_19950961

RIEBER, L. P. (2002). Supporting Discovery-Based Learning within Simulations Visualization in Education: A Primer Theoretical Support for Visualization in Learning. *Learning*, 30602, 1-10. <http://doi.org/10.4018/978-1-60566-158-2.ch012>

ROTH, C., KLIMMT, C., VERMEULEN, I. E. et VORDERER, P. (2011). The experience of interactive storytelling: Comparing “ Fahrenheit ” with “ Façade ”. Dans *Proceedings of the International Conference on Entertainment Computing (ICEC 2011)*, LNCS 6972 (p. 13-21). Berlin, Allemagne : Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-642-24500-8_2

ROTH, C., VERMEULEN, I., VORDERER, P. et KLIMMT, C. (2012). Exploring replay value: shifts and continuities in user experiences between first and second exposure to an interactive story. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 15(7), 378-81. <http://doi.org/10.1089/cyber.2011.0437>

ROTONDI, A. J., SINKULE, J. et SPRING, M. (2005). An interactive Web-based intervention for persons with TBI and their families: use and evaluation by female significant others. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 20(2), 173-85.

SGOUROS, N. (1999). Dynamic Generation, Management and Resolution of Interactive Plots. *Artificial Intelligence*, 107(1), 29-62.

**Nicolas SZILAS, Jean DUMAS,
Urs RICHLÉ, Nicolas HABONNEAU**

SI, M. et MARSELLA, S. C. (2014). Encoding Theory of Mind in Character Design for Pedagogical Interactive Narrative. *Advances in Human-Computer Interaction, 2014*, 1-10. <http://doi.org/10.1155/2014/386928>

SILVERMAN, B. G., JOHNS, M., WEAVER, R. et MOSLEY, J. (2003). Authoring edutainment stories for online players (AESOP): Introducing gameplay into interactive dramas. Dans O. Balet, G. Subsol et P. Torguet (dir.), *Proceedings of the Second International Conference on Virtual Storytelling (ICVS 2003)*, LNCS 2897 (p. 65-73). Berlin, Allemagne : Springer.

SPIERLING, U., HOFFMANN, S., SZILAS, N. et RICHLÉ, U. (2011). *Educational material for creators on AI-based generative narrative methods. D3.2.*

SWIFT, E. E., TAYLOR, H. G., KAUGARS, A. S., DROTAR, D., YEATES, K. O., WADE, S. L. et STANCIN, T. (2003). Sibling relationships and behavior after pediatric traumatic brain injury. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics (JDBP)*, 24(1), 24-31.

SZILAS, N. (1999). Interactive Drama on Computer: Beyond Linear Narrative. Dans M. Mateas et P. Sengers (dir.), *Narrative Intelligence - Papers from the 1999 AAAI Fall Symposium - TR FS-99-01* (p. 150-156). Menlo Park, CA : AAAI Press.

SZILAS, N. (2003). IDtension: a narrative engine for Interactive Drama. Dans S. Göbel, N. Braun, U. Spierling, J. Dechau et H. Diener (dir.), *Proceedings of the Technologies for Interactive Digital Storytelling and Entertainment Conference (TIDSE)* (Vol. 3, p. 187-203). Darmstadt, Allemagne : Fraunhofer IRB.

SZILAS, N. (2007). A Computational Model of an Intelligent Narrator for Interactive Narratives. *Applied Artificial Intelligence*, 21(8), 753-801. <http://doi.org/10.1080/08839510701526574>

SZILAS, N. (2014). Où va l'intrigue ? Réflexions autour de quelques récits fortement interactifs. *Cahiers de Narratologie*, 27. Repéré à <http://narratologie.revues.org/7065>

SZILAS, N. (2015). Reconsidering the Role of AI in Interactive Digital Narrative. Dans H. Koenitz, G. Ferri, M. Haahr, D. Sezen et T. Ibrahim Sezen (dir.), *Interactive Digital Narrative - History, Theory and Practice* (p. 136-149). New York, NY : Routledge.

SZILAS, N. et ILEA, I. (2014). Objective Metrics for Interactive Narrative. Dans A. Mitchell, F.-V. Clara et D. Thue (dir.), *Proceedings of the 7th International Conference on International Digital Storytelling (ICIDS 2014)*, LNCS 8832 (p. 91-102). Berlin, Allemagne : Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-12337-0>

THORNDYKE, P. W. (1977). Cognitive structures in comprehension and memory of narrative discourse. *Cognitive Psychology*, 9(1), 77-110. article. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90005-6](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(77)90005-6)

WADE, S. L., GERRY TAYLOR, H., YEATES, K. O., DROTAR, D., STANCIN, T., MINICH, N. M. et SCHLUCHTER, M. (2006). Long-term parental and family adaptation following pediatric brain injury. *Journal of Pediatric Psychology*, 31(10), 1072-83. <http://doi.org/10.1093/jpepsy/jsj077>

YOUNG, R. M., RIEDL, M. O., BRANLY, M., JHALA, A., MARTIN, R. J. et SARETTO, C. J. (2004). An architecture for integrating plan-based behavior generation with interactive game environments. *Journal of Game Development*, 1(1), 51-70.



Développer des compétences de conceptualisation et d'analyse avec un forum de discussion et un etherpad

► **Gaëtan TEMPERMAN, Sébastien WALGRAEVE, Bruno DE LIEVRE** (DESTE, UMons), **Karim BOUMAZGUIDA** (CFPU, UMons)

■ **RÉSUMÉ** • Dans cette contribution, nous évaluons l'efficacité d'un environnement d'apprentissage collaboratif composé d'un forum de discussion et d'un etherpad dans un contexte de formation universitaire. Le scénario pédagogique a pour objet d'amener les apprenants à développer des compétences de conceptualisation et d'analyse. Nos analyses multiniveaux tendent à montrer que les apprenants peuvent développer des compétences de conceptualisation et d'analyse au travers de tâches élaboratives qui mobilisent ces outils. Notre analyse du lien entre le processus d'apprentissage et les gains des apprenants met en évidence que l'exploitation des traces enregistrées dans ces espaces est en mesure d'expliquer en partie leurs progressions. Nous observons que ces facteurs explicatifs peuvent toutefois varier en fonction de la nature de la tâche proposée aux apprenants.

■ **MOTS-CLÉS** • Apprentissage collaboratif médiatisé par ordinateur, Analyse de traces, Environnement numérique de travail, Pédagogie universitaire.

■ **ABSTRACT** • *In this article, a multilevel analysis approach was used to study the joint use of a collaborative writing tool (Etherpad) and a discussion forum in a computer-supported collaborative learning (CSCL) environment dedicated to practical activities in a university course (1st level). The learning sequence was designed so as to promote conceptual and analytic skills. The results showed that learners developed the targeted skills through elaborative tasks during which the two collaborative tools (Etherpad and forum) were used. Moreover, thanks to the analysis of traces of tools use in the CSCL environment, we were able to identify the process variables that partly explained the learning progress. We observed that these explanatory factors can, however, vary according to the nature of the task.*

■ **KEYWORDS** • *Computer-Supported Collaborative Learning (CSCL), Track Analysis, Learning analytics, Virtual Work Environment, University Pedagogy*

Gaëtan TEMPERMAN, Sébastien WALGRAEVE, Bruno DE LIEVRE, Karim BOUMAZGUIDA
Développer des compétences de conceptualisation et d'analyse
avec un forum de discussion et un etherpad

Sticef, vol. 24, numéro 1, 2017, pp. 153-181, DOI: 10.23709/sticef.24.1.6

1. Introduction

Actuellement, un relatif consensus existe dans la littérature pédagogique autour de l'idée qu'un environnement d'apprentissage collaboratif qu'il soit à distance ou en présentiel doit permettre d'amener les apprenants à produire quelque chose de nouveau à partir d'un contenu traité dans la séquence pédagogique. Pour assurer la gestion des tâches élaboratives, les apprenants doivent disposer d'outils de communication leur permettant d'échanger d'une part et d'outils de structuration leur donnant la possibilité d'organiser les éléments discutés dans une nouvelle structure d'autre part.

Si un certain nombre d'études ont questionné l'apport des usages pédagogiques de ces deux types d'outils de manière indépendante, peu de recherches à notre connaissance ont pris en considération pour l'instant l'interaction entre ceux-ci et les ont mis en relation avec le développement de compétences ciblées par le dispositif. Pour y parvenir, notre contribution exploite et analyse les traces d'activités de communication et de structuration des apprenants enregistrées dans un environnement d'apprentissage collaboratif. Celui-ci a pour objectif d'amener les apprenants à développer deux compétences différentes sur le plan cognitif : la conceptualisation et l'analyse.

Pour guider la mise en œuvre et l'analyse des résultats de cette expérimentation, nous examinons tout d'abord la littérature en distinguant d'une part, les apports pédagogiques des outils de communication et d'autre part, ceux issus des outils de structuration.

2. Usages pédagogiques des outils de communication

Pour Baker (2002), l'attribution de tâches à une équipe ne garantit en rien le développement de comportements collaboratifs et des interactions productives. Il est indispensable de développer des systèmes de communication efficaces et adaptés à la tâche pour supporter la collaboration. Bien que l'élaboration d'un accord puisse paraître plus efficiente dans une situation orale que dans une situation écrite, le passage à l'écrit donne la possibilité à l'apprenant d'avoir une attitude réflexive par rapport à la situation de communication. (Crinon, 2010, p.17) exprime parfaitement ce bénéfice sur le plan cognitif : *« Communiquer par écrit signifie qu'on ne bénéficie pas de la rétroaction immédiate de son interlocuteur et de la régulation que constituent ses réactions et ses questions éventuelles. L'écrit induit donc un effort cognitif*

supplémentaire pour expliquer ses références hors de la situation d'énonciation, pour construire avec des mots le monde de référence lui-même. » Lors de la communication écrite, les coûts de production et de formulation du message sont évidemment plus élevés. Dans la mesure où les tâches portent sur l'argumentation, les environnements d'apprentissage collaboratif à distance privilégient les outils basés sur une communication écrite comme le forum de discussion.

Sur le plan organisationnel, cet outil asynchrone se structure généralement sur deux niveaux : les sujets et les messages. Le premier niveau de lecture est constitué par une liste des sujets édités autour de thèmes précis ou de questions spécifiques. Les messages affichés dans l'ordre chronologique à l'intérieur des sujets constituent le second niveau de lecture du forum. L'espace de communication se structure donc progressivement en subdivisant en sous-espaces au gré de l'évolution de la conversation. Pour Weinberger *et al.* (2005) et Brooks et Jeong (2006), la structuration par fils de discussion se révèle d'ailleurs être une voie intéressante pour étayer une tâche argumentative. Ces différents auteurs mettent ainsi en évidence que l'implémentation de fils de discussion au sein d'un forum permet de favoriser l'émergence d'un débat et d'interactions propices au partage de points de vue entre apprenants. Cette démarche constitue en quelque sorte une modalité de guidance permettant aux étudiants de se focaliser sur les points importants de la discussion à initier et évite par la même occasion que les apprenants ne s'écartent de la tâche proposée. Cette organisation offre la possibilité de faire apparaître rapidement les différentes relations établies entre les messages (questions, réponses, demandes, précisions, etc.).

Au niveau du contenu des échanges, Erkens et Janssen (2008) ainsi que Dillenbourg *et al.* (2007) mettent clairement en avant que le développement de compétences dans ces espaces de discussion est lié à l'émergence d'échanges élaborés qui s'appuient sur une argumentation et une mobilisation des concepts issus du contenu du cours. Ces résultats confirment les conclusions de Tapiero (2007) qui mentionnent que la production d'un texte argumenté, c'est-à-dire dont les idées s'enchaînent correctement, est liée positivement à la compréhension du domaine de ce dernier dans la mesure où les articulations logiques facilitent l'ancrage des connaissances. Selon le principe de transactivité, cette démarche se renforce dans le sens où une participation régulière indique une prise en compte de l'intervention des partenaires et un travail en fonction de l'évolution de la production collective (Quintin et Masperi, 2006).

L'espace de communication se révèle être un outil particulièrement adapté pour recueillir les avis divergents des apprenants et résoudre un problème ouvert (Depover, De Lièvre et Temperman, 2006). Dans celui-ci, le niveau d'engagement peut cependant être modulé par le profil initial des apprenants (De Lièvre, Temperman, Decamps et Depover, 2009) quand on s'intéresse aux styles d'apprentissage liés à la dimension sociale de l'apprentissage (Grasha, 1996).

Enfin, plusieurs études mentionnent que les apprenants peuvent parfaitement adapter l'outil de communication en fonction de la tâche à réaliser. Par exemple, Temperman *et al.* (2009) observent qu'une tâche centrée sur la négociation d'un avis commun entraîne les étudiants contraints à l'usage du forum à adopter une communication synchrone. En nous référant aux travaux de Rabardel (1995), nous pouvons considérer que les logiques d'usage mènent parfois à des adaptations des fonctionnalités offertes au départ par l'outil et divergent de celles auxquelles les concepteurs avaient songé. Pour réaliser l'activité qui demande de se mettre d'accord, une communication en direct paraît plus adaptée aux apprenants auxquels le forum a été imposé. Quand il le faut, les apprenants parviennent donc à compenser les limites de l'outil. Lors de l'activité collaborative, ils prennent l'option de le détourner afin qu'il puisse répondre à leurs besoins et à leurs priorités dans la mise en œuvre de la communication.

3. Usages pédagogiques des outils de structuration

Parallèlement aux espaces de communication, il importe de mettre à disposition des espaces capables de soutenir le processus d'organisation des connaissances et de contribuer à l'élaboration d'un produit collaboratif. La mise à disposition d'un espace de structuration se justifie d'un point de vue constructiviste par le besoin de manipuler des nouvelles représentations (chaînes argumentatives, liens établis entre les connaissances...) en vue d'externaliser celles-ci et, de la sorte, élaborer de nouvelles connaissances (Perkins, 1995).

Différents outils basés sur une logique de partage et de structuration peuvent ainsi être intégrés dans l'environnement d'apprentissage. Ces outils sont susceptibles d'amener les apprenants à adopter des stratégies d'écriture collaborative qui les amènent à écrire à plusieurs mains lors de chaque étape du projet. Un examen théorique de la littérature (Brodahl et Hansen, 2014 ; De Wever *et al.*, 2015) montre que les études empiriques relatives aux espaces de structuration se sont essentiellement centrées sur

les effets et les usages du wiki, lequel induit une modalité de travail asynchrone. Ces recherches tendent à mettre en évidence un bénéfice de leur usage en termes d'apprentissage. Une étude comparative menée par Neumann et Hood (2009) montre ainsi que les étudiants qui ont pu disposer d'un wiki s'engagent davantage dans la tâche comparativement à des étudiants ne disposant pas de l'outil d'écriture à plusieurs mains. Mak et Coniam (2008) mettent également en évidence un impact positif du wiki sur l'apprentissage. Leur analyse qualitative comparative des contributions entre une situation d'écriture mobilisant un wiki et une autre sans le support de l'outil indique que les étudiants aboutissent à une production de meilleure qualité quand ils disposent de l'outil, à condition qu'ils adoptent une stratégie collaborative. À partir d'un plan expérimental de type prétest/posttest, Wichadee (2010) observe que les étudiants progressent significativement dans l'apprentissage d'une seconde langue à la suite de leur activité dans le wiki. L'analyse du processus montre que la lecture et les modifications opérées sur les contributions des pairs pour améliorer la production rentrent en ligne de compte pour expliquer cette évolution positive.

En termes de perceptions, les apprenants ont généralement une opinion positive de l'outil concernant son apport dans le travail collaboratif et à la qualité de celui-ci (Elgort, Smith et Toland, 2008 ; Temperman, De Lièvre et Lenz, 2009). Ces derniers auteurs mettent également en évidence que le wiki est particulièrement adapté pour une tâche de synthèse. Lors de l'intégration de l'outil de mise en commun des travaux individuels, l'analyse de l'opinion des utilisateurs montre qu'ils le jugent très positivement comme moyen de structuration. Ils ont toutefois une perception négative des fonctionnalités de suivi comme l'historique, qui s'avère difficile à utiliser pour visualiser les changements récents dans l'environnement d'édition. Cette observation peut s'expliquer par le fait qu'il s'agissait pour les apprenants d'une première expérience avec un outil d'écriture à plusieurs mains. Il apparaît donc important de guider la découverte de ces environnements à l'aide de tutoriels ou de manipulations préalables à la tâche d'apprentissage. Dans cette même étude, les analyses au niveau du processus montrent également la complémentarité indispensable du wiki avec un outil de communication permettant de coordonner l'activité collaborative dans l'espace de travail. Leur observation est cohérente avec l'étude de Dillenbourg et Traum (2006). Ces auteurs montrent que les apprenants utilisent de manière complémentaire l'outil de structuration à leur disposition (un tableau blanc) et

l'outil de communication (chat) en fonction du type d'informations qu'ils souhaitent partager. Ils utilisent davantage le tableau blanc pour échanger des informations qui peuvent correspondre à des inférences issues de leur traitement de l'information, et la messagerie instantanée pour des informations plus explicites. À l'occasion d'une étude exploratoire, Elgort, Smith et Toland (2008) rapportent que les étudiants estiment qu'un espace de type wiki favorise l'organisation de l'information ainsi que le partage des connaissances. Ils indiquent par ailleurs que l'outil favorise la responsabilisation et la participation de l'ensemble des membres du groupe. Pour les enseignants, l'outil facilite l'identification des apports de chacun à la résolution de la tâche proposée, objectivable à partir de l'exploitation des traces informatiques.

D'autres études apportent des informations relatives aux conditions d'intégration du wiki. Wang *et al.* (2005) observent ainsi dans un contexte d'apprentissage des langues que les étudiants qui éditent de manière importante dans le wiki aboutissent à des résultats moins élevés. Pour expliquer ce résultat, les auteurs avancent comme hypothèse que l'outil de structuration doit être lié aux objectifs fixés par le cours et à la nature de la tâche proposée. Ce résultat corrobore l'étude de Bower, Woo, Roberts et Watters (2006) qui montre, sur la base du déploiement de wikis dans deux contextes différents (projet *vs* jeu de questions-réponses), que les apprenants ont une perception plus positive de son usage quand l'outil est mobilisé pour réaliser une tâche authentique dans le cadre d'un développement de projet de groupe. De manière concordante, De Wever *et al.* (2015) mettent en avant que le potentiel du wiki est lié à la présence d'un script qui structure la collaboration dans l'espace d'édition. Les étudiants bénéficiant d'un script de collaboration ont ainsi un degré de responsabilité partagée perçue plus élevée que ceux n'en disposant pas. Raman, Ryan et Olfman (2005) ainsi que Engstrom et Jewett (2005) montrent également que l'usage d'un wiki dans un contexte réel nécessite une formation préalable des apprenants pour que ceux-ci puissent en retirer des bénéfices en matière d'apprentissage. Lors de l'examen de la relation entre le processus et l'activité dans le wiki objectivée par le nombre de modifications réalisées, Laru, Näykki et Järvelä (2012) montrent que l'usage d'un wiki pour réaliser différentes tâches d'écriture a un effet significatif sur les progrès individuels dans le développement des compétences ciblées.

Concernant les outils permettant également l'écriture collaborative synchrone comme les services Etherpad (Greenspan, Aaron et

Zamfirescu-Pereira, 2009) ou Google Drive, peu d'études sont disponibles dans la littérature en termes d'analyse d'usages. À partir d'une étude par questionnaires, Brodahl et Hansen (2014) mettent en avant l'importance d'offrir aux apprenants des espaces de communication pour échanger à propos du contenu de la production et pour coordonner le processus d'écriture.

À partir de cet examen théorique de la littérature, nous pouvons mettre en avant que les résultats de ces différentes études relatives à l'usage des outils de structuration dans un contexte d'apprentissage concordent avec le modèle d'acceptabilité d'un outil technologique (Tricot *et al.*, 2003). L'utilité et l'utilisabilité perçues constituent en effet des variables-clefs à prendre en compte lors de la sélection d'outils de structuration comme le wiki dans un environnement d'apprentissage collaboratif. L'utilisabilité du wiki est probablement moins évidente qu'un outil de communication comme le forum ou le chat, par le simple fait que son usage est moins fréquent en dehors du contexte académique. En ce qui concerne l'utilité, les études de Wang *et al.* (2005) et Bower *et al.* (2006) tendent à montrer que la pertinence de l'outil est plutôt liée à la nature des compétences à développer.

Notre revue de la littérature permet en outre de mettre en évidence que peu d'études en contexte réel d'apprentissage ont investigué la question de l'usage combiné des outils de communication et de structuration sur l'apprentissage, cette absence peut s'expliquer sans doute par la récence de la diffusion et de l'utilisation de ces technologies d'édition collaborative. Il nous semble donc pertinent de traiter cette problématique en apportant quelques éléments de réponse aux effets d'interaction entre un outil permettant de structurer à la fois les connaissances de manière synchrone ou asynchrone et un outil de communication comme le forum de discussion. Cette interrogation nous a conduits à développer et évaluer un environnement d'apprentissage organisant l'activité collaborative à partir d'un Etherpad et d'un forum de discussion.

À partir de cet examen théorique de la littérature, nous formulons deux hypothèses de départ. La première est que les tâches d'élaboration à l'aide des outils de communication et de structuration facilitent le développement de compétences en conceptualisation et en analyse. La seconde est que l'exploitation des traces dans ces espaces doit permettre d'expliquer en partie ce développement de compétences.

4. L'environnement d'apprentissage collaboratif

Le contexte de notre étude est celui de travaux pratiques organisés à distance pour des étudiants universitaires dans le cadre d'un cours d'introduction à la pédagogie. Le scénario d'apprentissage se compose de deux tâches collaboratives distinctes : une tâche de conceptualisation organisée sur quatre semaines et une activité d'analyse se déroulant sur trois semaines.

Durant la tâche de conceptualisation, les apprenants réalisent des comparaisons, avec des liens d'opposition ou de similitude, entre les différents concepts théoriques du cours. Cette activité de conceptualisation se structure en trois sous-tâches. Chacune d'entre elles se décompose en huit énoncés. La première sous-tâche (T1) des étudiants constitue un problème fermé, car les liens d'opposition ou de similitude sont déjà explicités. Ils doivent alors retrouver les deux concepts du cours associés dans ces comparaisons (par exemple : identifier deux concepts qui s'opposent en termes d'évaluation). À l'occasion de la deuxième sous-tâche (T2), ils continuent à être guidés par la mise à disposition des concepts appropriés à une comparaison. Ils sont alors amenés à les comparer afin d'en dégager les points communs et les différences (par exemple : comparer le raisonnement inductif et le raisonnement déductif). La dernière sous-tâche (T3) leur demande d'identifier eux-mêmes d'autres concepts associés qu'ils devront à leur tour comparer (consigne donnée aux étudiants : trouver d'autres associations pertinentes à comparer dans le glossaire du cours).

La tâche d'analyse demande d'identifier ces concepts dans trois études de cas et de justifier leurs choix. Elle s'articule en trois sous-tâches qui se déclinent en quinze énoncés chacune. Pour la réalisation de la première tâche (T4), l'identification est facilitée par une mise en évidence de passages pertinents dans la première étude de cas (surlignements en couleurs). Les étudiants doivent alors seulement identifier les concepts se trouvant dans les phrases surlignées dans la première situation de classe. À l'occasion de la deuxième tâche (T5), la démarche de recherche s'inverse : les concepts sont imposés et les étudiants sont amenés à retrouver les phrases qui y sont associées. Lors de la troisième tâche (T6), c'est à eux de déterminer et de situer les concepts les plus pertinents mis en œuvre.

Lors de la réalisation des deux tâches (conceptualisation et analyse), les apprenants évoluent de la pensée convergente vers la pensée divergente. Elles les amènent en effet à traiter dans un premier temps un problème

fermé et par la suite des problèmes de plus en plus ouverts. Chaque groupe collaboratif se compose de 5 étudiants. Afin d'assurer le travail collaboratif, les étudiants bénéficient dans l'environnement d'apprentissage mis en place sur la plate-forme « Moodle » d'un forum de discussion et d'un Etherpad.

Le forum, structuré par « arborescence », développe une hiérarchie selon laquelle chaque message est vu par les utilisateurs comme une réponse à un message précédemment posté, ce qui donne lieu à plusieurs niveaux de réponses. Au départ, l'espace de communication est vide de contenu. Les étudiants ont donc l'opportunité de structurer librement leur forum en créant de nouveaux fils de discussion en fonction de l'organisation qu'ils choisissent pour traiter les différents problèmes.

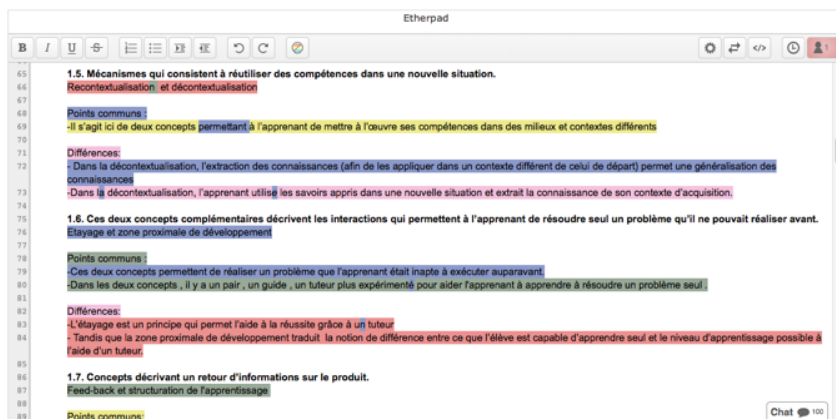


Figure 1 • Etherpad d'une équipe

L'Etherpad est un éditeur de texte qui permet aux utilisateurs de mettre à jour simultanément un document, et fournit un historique sous la forme de « ligne du temps », ce qui rend possible l'observation de l'évolution d'un document. L'espace d'édition permet également d'identifier la contribution de chaque auteur par un surlignement de couleur différente (figure 1). Parallèlement à la zone d'édition, les utilisateurs disposent d'une zone de chat permettant d'interagir de manière synchrone avec les différents membres du groupe qui visualisent le texte. D'un point de vue pédagogique, l'Etherpad est préstructuré par l'enseignant avec les énoncés des situations problèmes posés de manière à guider le processus de recherche des apprenants (voir description des tâches proposées). Les énoncés ont été écrits directement dans l'Etherpad afin

que les étudiants puissent facilement s'y familiariser et y formuler leurs solutions. Enfin, une consigne précise aux apprenants d'utiliser l'environnement d'apprentissage mis à leur disposition tout en mentionnant que l'évaluation de ce travail pratique portera à la fois sur la qualité des échanges qui auront lieu dans le forum et sur les différentes productions attendues dans l'Etherpad. En termes d'encadrement, les étudiants ont l'opportunité de poser leurs questions à un tuteur en publiant un message dans leur forum d'équipe via un fil de discussion dédié. Ce mode d'intervention tutorale peut être qualifié de réactif (De Lièvre, Depover et Dillenbourg, 2006).

5. Méthodologie

L'échantillon considéré se compose de 160 apprenants (N=160) répartis dans 32 groupes collaboratifs (5 membres par groupe). Les individus ont été intégrés de manière aléatoire dans ces différents groupes.

Tableau 1 • Formules pour évaluer la progression individuelle

Si	Alors
Post \geq Pré	Gain = $100 \times \frac{\text{Post} - \text{Pré}}{\text{Max} - \text{Pré}}$
Post < Pré	Perte = $100 \times \frac{\text{Post} - \text{Pré}}{\text{Pré}}$

Avec la mise en œuvre d'un environnement collaboratif, on peut évidemment espérer améliorer la qualité de l'apprentissage individuel à partir d'interactions productives entre les individus. Il importe donc également d'évaluer la valeur ajoutée du dispositif en termes de développement de compétences. Nous allons par conséquent consacrer une première partie de notre analyse à la progression des apprenants dans la maîtrise des deux compétences ciblées. Pour apprécier les effets au niveau des performances individuelles, nous avons eu recours à un plan d'observations qui s'appuie sur un pré test et un post test équivalents, évaluant le niveau des individus en ce qui concerne leurs compétences de conceptualisation et d'analyse. Ce dispositif « pré-post » nous donne ainsi la possibilité de calculer un gain relatif. Cette évaluation du gain réel pondéré par le gain maximum qui est possible permet de mesurer l'efficacité intrinsèque du dispositif. Le tableau 1 présente les deux formules à considérer en fonction de la comparaison préalable entre le

pré-test et le pos-test. Le calcul du gain relatif est possible à la condition que le score au pré-test soit inférieur ou égal au score du post-test. Si le score au pré-test est supérieur au post-test, alors il convient de calculer une perte relative.

De manière à disposer d'un outil d'évaluation fiable, nous avons évalué le pouvoir discriminant des questions, en utilisant un coefficient de corrélation entre le score obtenu à l'item et le score total obtenu au test. Le score obtenu à une question à choix multiples étant une variable dichotomique (la note est 0 ou 1), on utilise un coefficient de corrélation r point bisérial. Pour satisfaire à cette analyse, les questions doivent obtenir une corrélation supérieure ou égale à 0,4 (Laveault et Grégoire, 2002). À la suite de cette procédure, nous avons retenu huit items sur les 10 items initiaux pour la partie conceptualisation et quatorze items sur les 20 items proposés au départ pour la partie analytique.

Pour ce qui est des variables du processus, nous exploitons les traces d'activités dans le forum de discussion et dans l'Etherpad laissées par les apprenants au cours de la réalisation des tâches. D'un point de vue informatique, nous avons récupéré les traces d'activités dans le forum à partir de requêtes dans la base de données SQL pour une exportation des données obtenues dans un tableur. Pour l'etherpad, nous avons utilisé l'historique disponible dans l'espace d'édition de chaque équipe.

En ce qui concerne l'usage du forum de discussion, nous avons pris en considération différents indicateurs complémentaires susceptibles d'influencer la progression des apprenants. Nous nous appuyons ainsi sur l'implication et sur l'assiduité des apprenants dans les échanges (Jaillet, 2005). L'assiduité des apprenants correspond au nombre total de jours durant lesquels un message au moins a été déposé par l'étudiant (Quintin, 2008). Cet indicateur est exprimé en pourcentages. L'indice de collaboration est obtenu à partir du degré d'interactivité, en référence à Quintin et Masperi (2006, p.20) qui déterminent « *qu'il y a interaction lorsque, dans l'élaboration du discours commun, un locuteur tient compte d'un message précédent pour élaborer son intervention* ». Nous avons donc considéré une variable permettant de rendre compte de la façon dont les étudiants se répondent les uns aux autres. Pour décrire cette interactivité, nous utilisons le nombre de messages en réponse à des messages antérieurement postés par d'autres membres. Le nombre moyen de réponses fournies par membre nous a permis d'évaluer la proportion des réponses par rapport aux autres membres de l'équipe. Cette « interactivité

par rapport au groupe » permet d'objectiver l'implication effective de l'apprenant en relation avec l'engagement global de ses partenaires. Pour apprécier l'équilibre de l'engagement, nous avons eu recours à un coefficient de Gini afin de comparer les inégalités de distributions entre les groupes. Ce coefficient de concentration est une mesure d'inégalité de la distribution associée à la courbe de Lorenz. Prenons l'exemple au niveau de la participation (nombre de messages). Pour chaque groupe, la déviation de chaque membre par rapport à une participation égale est calculée. La somme est ensuite divisée par la déviation maximale possible de cette valeur. Le coefficient de Gini peut prendre une valeur de 0 (si tous les étudiants postent le même nombre de messages) à 1 (si un étudiant poste tous les messages alors que ses partenaires n'en postent aucun). Si une moitié du groupe ne poste pas de messages et l'autre poste tous les messages, l'indice de Gini sera égal à .50. Un coefficient de Gini faible (proche de 0) correspond donc à un groupe où il y a un équilibre des échanges. À l'inverse, un coefficient de Gini élevé pourra être associé à un groupe où les comportements sont plutôt asymétriques. Dans le cadre de notre étude, nous avons fait le choix d'utiliser cet indice, car il permet de comparer l'inégalité de distributions sur des échelles différentes (Janssen *et al.*, 2011). Le coefficient de Gini (G_i) se calcule à l'aide de la formule décrite à la figure 2 où n est le nombre d'individus, y_i est la variable associée à chaque individu pour i allant de 1 à n .

$$G_i = \frac{2 \sum_{i=1}^n iy_i}{n \sum_{i=1}^n y_i} - \frac{n+1}{n}$$

Figure 2 • Calcul du coefficient de gini

Parallèlement à ces informations quantitatives, nous avons réalisé une analyse de contenu en prenant en compte deux variables lexicométriques. La première détermine le nombre de concepts différents du cours utilisés dans les messages qui permet d'objectiver la couverture du domaine de connaissances par les apprenants. Afin d'analyser l'argumentation qui prend place dans les interactions, nous avons utilisé la même procédure afin de comptabiliser le nombre d'occurrences de certains mots charnières argumentatifs. Ces mots correspondent à une relation de causalité (par exemple : parce que), de conséquence (par exemple : donc), d'opposition (par exemple : mais) et d'addition (par exemple : de plus). Le recueil des traces issues du forum de discussion a été envisagé à l'aide d'une requête sur la base de données SQL et l'importation de ces données

dans une feuille de calcul sous Excel (Konstantidinis et Grafton, 2013). L'intégration des données brutes dans un tableur nous donne ainsi la possibilité à l'aide de différentes macros d'obtenir nos différentes variables relatives au processus d'apprentissage de manière automatique.

Concernant l'usage de l'Etherpad, nous avons également pris en compte des indicateurs d'assiduité et d'implication. L'assiduité à l'Etherpad a été évaluée à l'aide de l'historique des modifications. Elle a été obtenue en calculant la différence entre la dernière date de modification et celle où il a été modifié au niveau de son contenu. Les essais réalisés par les étudiants pour tester l'outil de structuration n'ont pas été pris en compte. La variable utilisée peut être définie comme le nombre de jours pendant lesquels l'Etherpad a été utilisé. Compte tenu de la nature des traces recueillies, nous avons calculé cette variable au niveau du groupe. Afin d'évaluer le niveau d'implication, nous avons calculé les pourcentages de contribution entre les membres du groupe dans l'éditeur de texte. Au niveau des échanges synchrones, nous avons comptabilisé le nombre de messages dans le chat proposé dans l'espace d'édition. Complémentairement, nous avons d'un point de vue quantitatif considéré un indice de collaboration à partir des traces des surlignements colorés permettant d'identifier les contributions individuelles des apprenants. Afin de nous assurer qu'ils ont effectivement collaboré, nous avons observé le nombre d'énoncés édités par deux collaborateurs ou plus. Un énoncé comportant au moins deux couleurs peut ainsi être caractérisé comme « collaboratif ». Ce nombre d'énoncés édités de manière collaborative varie de 0 à 24 pour la tâche de conceptualisation et de 0 à 45 pour la tâche d'analyse. Afin d'établir un indice de collaboration comparable, nous avons converti ce nombre d'énoncés en pourcentages. Sur le plan qualitatif, nous avons également observé à partir d'une analyse lexicométrique la couverture du contenu dans l'Etherpad et le degré d'argumentation par individu.

En nous appuyant sur l'ensemble des variables que nous venons de décrire (progression et processus), nous apporterons des éléments de réponse aux trois questions de recherche suivantes en lien avec nos deux hypothèses de départ. La première question est en lien avec notre première hypothèse. La deuxième question et la troisième question sont liées à notre deuxième hypothèse.

Question 1: Quelle est la progression des apprenants dans la maîtrise des deux compétences ciblées ?

Question 2 : Comment les apprenants utilisent-ils l’Etherpad et le forum de discussion mis à leur disposition dans l’environnement d’apprentissage ?

Question 3 : Quelles sont les variables issues du processus d’apprentissage dans le forum de discussion et dans l’éditeur de texte qui expliquent le développement des deux compétences ?

D’un point de vue statistique, les unités d’observation considérées dans notre étude portent à la fois sur l’apprenant individuel et considèrent également les groupes collaboratifs dans lesquels chaque apprenant évolue et apprend. Dans notre contexte, l’usage de modèles multiniveaux se justifie par le fait que le processus de chaque individu n’est pas indépendant lors d’une situation d’apprentissage collaboratif (Janssen *et al.*, 2011). Il existe en effet une importante source de variation liée au groupe qui s’explique par l’effet de l’influence mutuelle des apprenants qui collaborent. Cet effet du groupe rejette le postulat « *toute chose étant égale par ailleurs* » permettant d’appliquer des procédures statistiques avec estimation par les moindres carrés ordinaires (MCO) comme l’analyse de variance et la régression multiple. L’application de ces techniques MCO dans une structure hiérarchisée induit alors des résultats statistiques erronés. Par exemple, on peut prévoir que des étudiants qui se retrouvent dans un groupe avec des partenaires très actifs seront également stimulés à participer davantage. À l’inverse, les étudiants amenés à travailler dans un groupe moins participatif auront davantage tendance à moins s’engager dans l’activité collaborative en raison d’un mécanisme de comparaison sociale (Michinov et Primois, 2005). Afin de contourner ce problème d’influence mutuelle, nous avons fait le choix d’utiliser une approche statistique multiniveaux à l’aide du logiciel HLM pour traiter les différentes données recueillies dans l’environnement d’apprentissage (Janssen *et al.*, 2011).

6. Résultats

Pour répondre à nos deux premières questions de recherche, nous nous appuyerons sur trois indicateurs complémentaires : la moyenne, le coefficient de variation qui correspond au rapport entre l’écart-type et la moyenne ainsi que le coefficient de corrélation intraclasse. Ce dernier coefficient permet d’apprécier le niveau de variabilité entre les groupes. Il correspond à la dépendance des scores entre les individus d’un même groupe et donne par conséquent une estimation du degré de « ressemblance » des élèves au sein des groupes collaboratifs. D’un point de

vue statistique, il correspond au pourcentage de la variance qui est attribuée au groupe (deuxième niveau). Il s'obtient à partir du rapport entre la variance inter-groupe et la variance totale (variance inter-groupe + variance intra-groupe). Par rapport à cet indice, (Bressoux, 2010) considère que la dépendance par rapport au groupe est faible sous le seuil de .05.

6.1. Question 1 : Quelle est la progression des apprenants dans la maîtrise des deux compétences ciblées à la suite de la réalisation dans l'environnement d'apprentissage ?

La première question a pour objet d'évaluer le gain d'apprentissage au terme de la séquence pédagogique. L'examen du tableau 2 met tout d'abord en évidence l'utilité de l'apprentissage dans la mesure où les résultats au pré test sont faibles (conceptualisation = 16,25 % et analyse = 22,01 %). Concernant le développement des compétences, nous observons ainsi que les apprenants ont une progression moyenne de 29,63 % en conceptualisation et de 46,34 % en analyse. Une analyse de variance à mesures répétées entre le pré-test et le post-test met en évidence un développement significatif de la compétence de conceptualisation ($F = 276,37$; $p = 0,000$) et de la compétence d'analyse ($F = 363,41$; $p = 0,000$).

**Tableau 2 • Statistiques descriptives :
progression des apprenants**

	Conceptualisation	Analyse
Pré-test	16,25 %	22,01%
Post-test	42,42 %	59,69 %
Gain relatif	29,63 %	46,34 %
Taille d'effet	1,55	1,98
CV pré-test	0,75	0,68
CV post-test	0,51	0,38
Coef Intra-classe	0,05	0,00

Avec le calcul d'un gain relatif, nous observons que les apprenants progressent de manière plus importante ($F = 38,666$; $p = 0,000$) en analyse (46,34 %) qu'en conceptualisation (29,63 %). Il y a une différence de 16,71 % en faveur de l'analyse. En nous référant à D'Hainaut (1975), un

gain relatif supérieur à 30 % peut être considéré comme une progression importante dans un dispositif de formation. Si on se réfère à Hattie (2009), cela correspond environ à une taille d'effet supérieur à 1. Ce développement significatif de compétences de haut niveau chez les apprenants, observé sur une période courte et avec un tutorat en mode réactif nous amène à penser que cette organisation se révèle plutôt efficace sur le plan pédagogique. Nous devons toutefois rester prudents par rapport à ces gains dans la mesure où nous ne pouvons imputer ces bénéfices au dispositif en l'absence d'un groupe contrôle.

En termes de dispersion, la lecture des coefficients de variation (CV) indique clairement que la variabilité des scores diminue entre le pré-test et le post-test. Elle baisse de 24 % pour la partie conceptualisation (passant de 0,75 à 0,51) et de 30 % pour la compétence d'analyse (passant de 0,68 à 0,38). Les apprenants obtiennent des résultats plus homogènes au post test qu'au pré test. Parallèlement à l'efficacité intrinsèque du dispositif, nous pouvons donc mettre en avant que le dispositif a également un effet positif sur l'équité. Il y a donc un plus grand partage de compétences liées à la conceptualisation et à l'analyse au terme de l'apprentissage.

Enfin, nous constatons à partir des coefficients intra classes qu'environ 5 % de la variance du gain en conceptualisation dépend du groupe auquel l'apprenant appartient alors que le développement de la compétence d'analyse n'est pas du tout liée à l'appartenance à un groupe particulier ($C_i = 0,00$). La nature de la tâche semble donc moduler l'influence du groupe sur la progression individuelle.

6.2. Question 2 : Comment les apprenants utilisent-ils le forum de discussion et l'Etherpad mis à disposition dans leur environnement d'apprentissage ?

Pour évaluer l'activité dans les deux espaces de travail (communication et structuration), nous présentons dans un premier temps les données relatives à l'usage de l'espace de communication et dans un deuxième temps celles portant sur l'activité dans l'espace de structuration.

6.2.1. Activités dans l'espace de communication

L'examen du tableau 3 permet de se rendre compte de l'usage du forum lors des deux tâches proposées dans l'environnement d'apprentissage : une tâche de conceptualisation et une tâche d'analyse. Quand la

ligne est grisée, cela signifie que les statistiques concernent le groupe et non l'individu. Dans ce cas, le coefficient intra-classe n'est pas à considérer.

Tableau 3 • Statistiques descriptives relatives à l'usage du forum de discussion

(Moy = Moyenne , CV = coefficient de variation, CI = coefficient intra-classe)

	Tâche de conceptualisation			Tâche d'analyse		
	Moy	CV	CI	Moy	CV	CI
Niveau d'assiduité (%)	39,28	0,38	0,28	40,95	0,45	0,41
Nombre total de messages	33,30	0,62	0,45	43,50	0,97	0,54
Degré de couverture conceptuelle	41,10	0,32	0,47	43,70	0,20	0,12
Degré d'argumentation	60,30	0,72	0,28	73,00	0,95	0,32
Indice de collaboration	12,90	0,47	0,00	11,90	0,55	0,01
Équilibre des contributions (Gini)	0,25	0,41		0,27	0,41	

Au niveau de l'assiduité du forum, nous observons une relative stabilité entre la tâche de conceptualisation (Moy = 39,28 %) et la tâche d'analyse (Moy = 40,95 %). En ce qui concerne l'implication, on constate que les apprenants s'impliquent davantage lors de la seconde activité. En effet, lors de l'activité 1, ils ont écrit en moyenne 33,30 messages. Lors de la tâche d'analyse, ces nombres augmentent. Les apprenants produisent en moyenne 31 % de messages de plus (Moyenne passant de 33,30 à 43,50). L'analyse du contenu portant sur les mots-clés argumentatifs et les concepts du cours confirme cette différence au niveau de l'implication. On constate que les étudiants utilisent, lors de la deuxième tâche, en moyenne 21 % de mots argumentatifs en plus ($F = 4,731$; $p = 0,037$). En moyenne, ils utilisent 41,10 concepts différents lors de l'activité 1 contre 43,70 lors de l'activité 2. L'examen des coefficients de Gini indique un équilibre dans les échanges au sein des groupes restreints lors de la tâche de conceptualisation (coef de Gini moyen = 0,25) et lors de la tâche d'analyse (coef de Gini moyen = 0,27). Nous pensons que la structuration du scénario peut expliquer cet engagement homogène dans la discussion. Nous observons également que la couverture du contenu est identique, quelle que soit la nature de l'activité. Lors de la tâche de conceptualisation, il est intéressant d'observer la relation significative entre l'équilibre des échanges et la couverture conceptuelle du groupe ($r = -0,455$; $p =$

0,000). Un traitement plus large du contenu proposé semble donc lié à une homogénéité des échanges dans l'espace de communication.

L'examen des différents coefficients intra-classes est également instructif. Il montre que le degré de participation entre les apprenants varie en fonction de l'appartenance à un groupe spécifique, quelle que soit la tâche proposée. Nous observons ainsi que le nombre total de messages, le degré d'assiduité, le degré d'argumentation et le degré de couverture conceptuelle sont clairement dépendants du groupe. Notons toutefois que la tâche d'analyse atténue cette dépendance en ce qui concerne la couverture du contenu. Si la quantité d'informations partagées varie en fonction du groupe, nous pouvons également observer que le degré de collaboration n'est nullement lié à celui-ci. À la lecture de ces différents résultats, nous pouvons estimer que l'activité des apprenants dans le forum est relativement importante (le niveau d'assiduité est proche de 40 %) quelle que soit la nature de l'activité envisagée. Cette activité reste relativement stable au cours de la séquence pédagogique.

6.2.2. Activités dans l'espace de structuration

Intéressons-nous à présent aux usages de l'éditeur collaboratif de texte. Le tableau 4 reprend les différentes variables retenues pour objectiver son utilisation au cours des deux activités. Au niveau de l'implication, on remarque que les étudiants s'impliquent de manière plus homogène dans l'Etherpad (coef de Gini moyen pour la conceptualisation = 0,16 et coef de Gini moyen pour l'analyse = 0,18) que dans le forum. Lors de la tâche de conceptualisation, nous mettons en évidence une corrélation à la limite de la significativité entre l'équilibre de l'engagement et la couverture conceptuelle ($r = -0,339$; $p = 0,057$). Cette observation concorde avec le lien similaire obtenu dans le forum pour la même tâche. On peut considérer qu'un partage équilibré entraîne un traitement plus approfondi du contenu à maîtriser. Nous observons par ailleurs que les indices de collaboration sont peu élevés lors des deux tâches. Cela signifie que les apprenants ont davantage adopté une logique coopérative pour éditer la synthèse de leur groupe et privilégié une démarche de type où chaque apprenant contribue de manière indépendante à la production du groupe. Concernant ce degré collaboration, il apparaît toutefois significativement plus important ($F = 7,377$; $p = 0,011$) lors de la tâche de conceptualisation (20,70 %) que lors de la tâche d'analyse (12,56 %). Une dynamique collaborative différente dans la zone d'édition partagée peut donc apparaître en fonction de la nature de la tâche. Ce résultat est

cohérent avec les résultats de De Wever *et al.* (2015) qui soulignent l'importance de réfléchir au type de tâche proposée aux apprenants avec les outils d'écriture collaborative et à la manière de les intégrer dans un scénario pédagogique.

Tableau 4 • Statistiques descriptives relatives à l'usage de l'Etherpad

(Moy = Moyenne, CV = coefficient de variation, CI = coefficient intra-classe)

	Tâche de conceptualisation			Tâche d'analyse		
	Moy	CV	CI	Moy	CV	CI
Niveau d'assiduité (%)	39,39	0,66		31,38	0,65	
Équilibre des contributions (Gini)	0,16	0,56		0,18	0,58	
Degré de couverture conceptuelle	15,00	0,38	0,31	15,80	0,38	0,44
Degré d'argumentation	16,20	0,72	0,40	17,00	0,68	0,54
Indice de collaboration (%)	20,70	1,23		12,56	1,87	
Nombre de messages dans le chat	9,30	1,41	0,1	10,80	1,34	0,30

On s'aperçoit également que la messagerie instantanée a été très peu utilisée par les étudiants dans l'espace de structuration. Au regard du coefficient de variation supérieur à 1, nous constatons une très forte hétérogénéité dans l'usage de ce chat disponible dans l'Etherpad qui tend à montrer que des groupes ont fait le choix d'adopter cette modalité d'échanges alors que d'autres n'ont pas privilégié cette possibilité d'interaction simultanée. Les coefficients intra-classes élevés au niveau du nombre de messages lors de la tâche de conceptualisation ($C_i = 0,21$) et lors de la tâche d'analyse ($C_i = 0,30$) confirment cette hypothèse.

Comme pour le forum, nous remarquons que la qualité des productions en cours de processus d'apprentissage est tributaire de l'appartenance à un groupe spécifique. Lors de la tâche de conceptualisation, les coefficients intra-classes sont très élevés en ce qui concerne le degré de couverture conceptuelle ($C_i = 0,31$) et le degré d'argumentation ($C_i = 0,40$). Lors de l'activité d'analyse, cette situation se renforce aussi bien pour le degré de couverture conceptuelle ($C_i = 0,44$) que pour le degré d'argumentation ($C_i = 0,54$). Il apparaît clairement que la qualité des échanges est étroitement liée à l'appartenance à un groupe particulier.

**Tableau 5 • Modèle multiniveau prédictif
du gain en conceptualisation**

	Variance Inter-groupe	Variance Intra-groupe	Variance Inter-groupe expliquée	Variance Intra-groupe expliquée	Déviance	Variance totale ex- pliquée
Modèle vide	845,16 (95,1 %)	43,52 (4,9 %)	/	/	1533,14	/
Modèle avec 3 variables prédictives	722,47	73,49	68,87 %	14,52 %	1518,96	10,43 %
Prédicteurs niveau 1 (individus) Variables liées à la tâche de conceptualisation			Bêta (β)		p	
Pourcentage de contribution (forum)			0,364		0,111	
Forum - couverture conceptuelle			0,083		0,012	
Indice de collaboration (forum)			0,528		0,053	

Tableau 6 • Modèle multiniveau prédictif du gain en analyse

	Variance Inter-groupe	Variance Intra-groupe	Variance Inter-groupe expliquée	Variance Intra-groupe expliquée	Déviance	Variance totale ex- pliquée
Modèle vide	1134,44	1,11	/	/	1572,98	/
Modèle avec 4 variables prédictives	984,75	2,54	129 %	13,20 %	1545,66	13,06 %
Prédicteurs niveau 1 (individus) Tâche de conceptualisation			Bêta (β)		p	
forum - Pourcentage de contribution			0,469		0,015	
Prédicteurs niveau 1 (individus) Variables liées à la tâche d'analyse			Bêta (β)		p	
Forum - concepts différents			0,619		0,014	
Etherpad - pourcentage de contribution			0,811		0,039	
Prédicteurs niveau 1 (individus) Score au prétest en analyse			Bêta (β)		p	
Score pré-test en identification			-4,971		0,039	

Voyons à présent les observations issues du processus d'apprentissage qui sont susceptibles d'expliquer le développement des deux compétences ciblées par le dispositif de formation.

6.3. Question 3 : Quelles sont les variables du processus qui expliquent le développement de compétences ?

Afin d'identifier les variables du processus qui peuvent expliquer les gains relatifs au niveau de la performance, nous avons eu recours à une analyse de régression multiniveaux. Cette technique d'analyse permet de mettre en relation une variable prédite avec un ensemble de variables prédictives, où les données sont hiérarchisées. Elle permet de tenir compte du fait que les individus appartiennent simultanément à plusieurs contextes. La variabilité des mesures peut donc être expliquée par les caractéristiques propres à l'individu (niveau 1) ou par celles du groupe (niveau 2). Les variables dépendantes doivent appartenir au premier niveau, car cette analyse vise à expliquer quelque chose qui se passe au niveau le plus bas. Le pouvoir explicatif du modèle (part de variance estimée) peut être évalué en calculant « *l'écart entre la variance estimée par le modèle vide et la variance résiduelle estimée par un modèle plus complet, divisé par la variance estimée par le modèle vide* » (Bressoux, 2010, p. 313).

Afin de déterminer les variables pouvant expliquer le mieux le gain de performance, nous avons calculé la part de variance estimée (pseudo- R^2) pour chaque variable prise isolément. Nous avons alors retenu celles qui étaient les plus pertinentes, significatives ($p \leq 0,05$) ou proches de la significativité ($p = 0,10$) et qui avaient les meilleurs pouvoirs explicatifs pour créer notre modèle, tout en évitant les variables colinéaires.

6.3.1. Modèle explicatif du gain en conceptualization

La lecture du tableau 5 présente les résultats issus de l'analyse de régression hiérarchique pour identifier les variables qui expliquent le développement de la compétence en conceptualisation. Nous pouvons mettre en avant que le pourcentage de contribution ($\beta = 0,364$; $p = 0,111$) et le degré d'interactivité par rapport au groupe ($\beta = 0,528$; $p = 0,053$) interagissent positivement avec le nombre de concepts échangés sur le forum ($\beta = 0,083$; $p = 0,012$) et expliquent 10,43 % du gain en conceptualisation. Relevons que cet indice de transactivité (degré de collaboration) est la variable qui a le plus de poids dans l'explication du développement de la compétence.

6.3.2. Modèle explicatif du gain en analyse

Le tableau 6 montre que quatre variables expliquent 13,06 % de la progression en analyse. Le nombre de concepts différents traités dans le

forum ($\beta = 0,619$; $p = 0,014$) et le pourcentage de contributions dans l'Etherpad ($\beta = 0,811$; $p = 0,039$), lors de l'activité d'analyse, constituent de bons prédicteurs dans la progression en analyse (voir tableau 5). Le pourcentage de contributions sur le forum, lors de l'activité de conceptualisation, semble aussi contribuer à la progression en analyse ($\beta = 0,469$; $p = 0,015$). Dans l'environnement d'apprentissage, il apparaît donc que la tâche de conceptualisation contribue à aider les élèves à mieux analyser les situations concrètes. Le score au prétest module ces trois variables du processus ($\beta = - 4,971$; $p = 0,039$). Plus les étudiants obtiennent des notes faibles au prétest en analyse, plus ils peuvent espérer progresser dans cette compétence. Le dispositif n'est pas donc neutre et ses effets interagissent avec les caractéristiques initiales des apprenants. Cette analyse de régression confirme l'effet du dispositif sur l'équité mis en évidence lors de la première question de recherche.

Enfin, il est logique que nous n'identifions pas de variables au niveau du groupe (niveau 2) dans la mesure où le coefficient intraclasse du gain en analyse est proche de 0.

7. Discussion des résultats

Tout d'abord, nous pouvons mettre en avant que la scénarisation pédagogique qui s'appuie sur un outil de communication et sur un outil de structuration peut avoir un effet positif non seulement sur le niveau de maîtrise en analyse et en conceptualisation, mais également sur la diminution du niveau d'hétérogénéité d'un groupe dont la gestion constitue souvent une difficulté pour les enseignants au premier cycle universitaire. Ce résultat va dans le sens d'un certain nombre d'études qui montrent qu'un outil d'édition collaboratif peut impacter positivement l'apprentissage à condition que celui-ci soit proposé à partir d'un script de collaboration (De Wever *et al.*, 2015; Widachee, 2010) et que les deux outils dédiés à la collaboration se révèlent complémentaires (Dillenbourg et Traum, 2006). Tout en restant prudent du fait de l'absence d'un groupe contrôle qui ne bénéficie pas du dispositif, nous pouvons donc confirmer notre première hypothèse liée à l'effet positif d'un environnement collaboratif sur le développement de compétences à la fois en conceptualisation et en analyse.

En ce qui concerne le processus d'apprentissage, notre analyse montre que le degré d'interactivité est plus important dans le forum de discussion que dans l'Etherpad. Si les contributions dans l'éditeur sont symétriques, nous observons que les apprenants envisagent plutôt ce travail selon une

modalité indépendante. Par ailleurs, le comportement semble plus hétérogène dans le forum de discussion que dans l'éditeur de texte collaboratif. Cette différence peut s'expliquer par l'association d'une couleur à chaque collaborateur et qui permet de la sorte d'identifier en un coup d'œil la participation de chacun dans l'espace d'édition. Nous avançons comme hypothèse que cette modalité de visualisation de leur contribution proposée par défaut dans l'Etherpad peut réguler le comportement des apprenants. Cette idée est cohérente avec les résultats des travaux de Janssen *et al.* (2007) qui montrent que la prise de conscience de l'activité des autres apprenants au sein du groupe leur permet d'ajuster leur participation dans l'environnement.

Sur le plan pédagogique, nous pouvons mettre en avant que la tâche de conceptualisation nécessite la mobilisation d'opérations mentales plus exigeantes et pousse les étudiants à s'impliquer en fournissant plus de justifications et en argumentant davantage, comparée à celle de l'analyse. Ce résultat va dans le sens des constats de Tapiero (2007) qui montrent que la présence d'articulations logiques dans un texte constitue un indicateur de la compréhension du domaine traité.

Au niveau de la collaboration, les coefficients intra-classes élevés indiquent que le groupe a un effet d'entraînement important sur la dynamique mise en œuvre au sein de celui-ci dans une séquence d'apprentissage collaboratif. Un apprenant qui se retrouve dans un groupe avec des partenaires très actifs est en effet stimulé à participer davantage tant quantitativement que qualitativement. D'un point de vue méthodologique, nous rejoignons ainsi les propositions de Janssen, Erkens, Kirschner et Kanselaar (2011) qui soulignent la nécessité, dans le champ de la recherche relatif à l'apprentissage collaboratif, de tenir compte de la variabilité entre groupes et d'effectuer, par conséquent, des analyses qui tiennent compte de cette hiérarchie au niveau des observations (individu et groupe) en mobilisant des techniques statistiques multiniveaux. Avec l'analyse du processus, nous mettons également en évidence que le comportement est plus homogène dans l'espace de structuration que dans l'espace de communication alors que le niveau de participation apparaît plus stable lors des deux tâches dans le forum de discussion que dans l'Etherpad.

En ce qui concerne le lien entre le processus et la progression des apprenants, la comparaison des deux modèles explicatifs rapportés indique que l'activité du forum a davantage de poids que l'activité dans

l'éditeur de texte. Nous pouvons à cet égard avancer l'idée que l'éditeur de texte se révèle moins utile pour développer la compétence de conceptualisation. Nous pouvons ainsi confirmer que la pertinence du choix d'un outil de structuration est plutôt liée à la nature des compétences à développer (Bower *et al.*, 2006). L'activité du forum contribue à la fois au développement des compétences de conceptualisation et d'analyse. Par ailleurs, le degré de couverture des concepts traités dans le forum de discussion se retrouve dans les deux modèles explicatifs de notre étude. Cet indice d'approfondissement du contenu contribue à expliquer à la fois les gains en conceptualisation et en analyse. Nous rejoignons les observations de Dillenbourg *et al.* (2007) et de Erkens et Janssen (2008) pour qui l'usage des notions-clefs dans les échanges en ligne constitue un indicateur de la qualité des interactions et de la progression dans la maîtrise du contenu. Ce résultat est important à considérer pour développer des visualisations qui exploitent les traces d'apprentissage et qui donnent aux apprenants un indicateur de la qualité de leur traitement du contenu lors de leurs échanges pour résoudre les situations proposées.

Concernant le modèle explicatif du gain en conceptualisation, le degré d'interactivité a un effet positif sur la maîtrise conceptuelle du contenu. Ce résultat est cohérent avec ceux de Quintin et Masperi (2006) qui montrent que la présence de la reprise de la parole de l'autre dans l'élaboration de son propre discours entretient un lien positif avec la qualité de l'apprentissage.

Dans le modèle explicatif du gain en analyse, nous mettons en évidence que le niveau de départ en analyse contribue au modèle explicatif du développement de cette capacité lors des deux expérimentations. Ce résultat corrobore l'étude de Shachar (2003) qui met en avant que l'apprentissage collaboratif a d'autant plus d'impact sur l'élève que son niveau est faible au départ. Si nous pouvons dire que le dispositif constitue une aide significative pour les étudiants les plus faibles au départ, ce résultat se doit toutefois d'être nuancé dans le sens que celui-ci peut également s'expliquer par un effet de seuil de notre outil d'évaluation. Retenons également que les contributions dans le forum pour réaliser la tâche de conceptualisation favorisent le développement de la compétence en analyse. Si nous nous référons à notre protocole expérimental, on peut évidemment penser à la proximité du post test qui est administrée au terme de la tâche d'analyse et convoquer l'effet de récence comme piste explicative. Une autre hypothèse est tout

simplement que la confrontation à des situations concrètes facilite le traitement conceptuel. À nos yeux, ce résultat montre toute l'importance de proposer des situations qui s'articulent autour d'étude de cas leur offrant la possibilité de mieux contextualiser leurs connaissances. L'investissement de l'apprenant au cours de ces moments de contextualisation semble particulièrement bénéfique dans le développement des compétences visées. Nous pouvons donc estimer qu'il existe une interdépendance entre les tâches cognitives proposées. En termes de scénarisation d'apprentissage, ce résultat plaide pour la mise en oeuvre d'une tâche de conceptualisation avant d'envisager une tâche analytique (Barth, 2001) dans l'environnement pédagogique. Bien que les degrés d'explication fournis par les analyses de régression multiniveaux soient faibles (R^2 conceptualisation = 10,43 % et R^2 analyse = 13,06 %), ces différents résultats nous permettent de valider notre deuxième hypothèse qui stipule que le développement de compétences est lié en partie à l'activité observée dans les espaces de communication et de structuration. Si l'activité dans le forum et l'activité dans l'etherpad interagissent positivement sur le développement analytique, nous n'observons pas cette tendance pour la conceptualisation où les activités dans le forum constituent les seuls facteurs explicatifs.

Enfin, il est intéressant d'observer que contrairement à la progression en analyse, le gain en conceptualisation est davantage lié à l'appartenance à un groupe spécifique. Dans la modélisation relative à la conceptualisation, nous ne sommes toutefois pas parvenus à identifier de variables de niveau 2 (groupe) en mesure d'expliquer ces gains individuels.

8. Conclusion et perspectives

Dans l'ensemble, nous observons, de manière logique, que le degré de maîtrise des apprenants s'élève à mesure que le niveau d'activité et d'implication de l'apprenant augmente dans l'environnement d'apprentissage (Quintin et Masperi, 2006 ; Mayer, 2009). Notre analyse croisée du processus et des progressions montre que seule l'activité dans le forum contribue à expliquer la progression lors d'une tâche de conceptualisation. Pour les gains en analyse, nous observons que l'activité dans l'espace de structuration interagit positivement avec celle dans l'espace de communication et le niveau initial des apprenants. Cette démarche montre que les traces se révèlent être une source précieuse permettant d'appréhender la progression des étudiants dans un environnement médiatisé. Cette approche de type « learning analytics » au niveau micro

fournit des données précieuses à l'enseignant pour faire évoluer de manière itérative le scénario pédagogique et pour guider le développement des environnements offerts aux apprenants.

D'un point de vue méthodologique, nous pouvons estimer que l'approche multiniveaux permet d'enrichir l'exploitation des traces et permet d'aboutir à une meilleure compréhension des processus d'apprentissage collaboratif mis en œuvre dans les environnements médiatisés.

En termes de perspectives, les valeurs réduites des pseudo R^2 de nos modèles explicatifs nous invitent à poursuivre l'identification d'indicateurs pertinents exploitant les traces d'apprentissage. Au niveau de l'encadrement de l'apprentissage, cette recherche de nouveaux indicateurs permettra en outre de guider le développement d'outils de visualisation permettant aux apprenants de disposer d'indicateurs significatifs pour réguler au mieux leur progression dans la séquence. Pour envisager cette élaboration d'indicateurs pertinents, une piste mise en avant dans la littérature (Dillenbourg, 2011) et que nous souhaitons creuser dans la suite de cette étude est l'identification automatique des indices de co-élaboration et de transactivité au sein du groupe. Elle peut être envisagée par le repérage de reprise d'éléments de langage et de contenu entre les partenaires dans les espaces de communication et de structuration.

BIBLIOGRAPHIE

BAKER, M. (2002). Forms of cooperation in dyadic problem-solving. *Revue d'intelligence artificielle*, 16(4-5), 587-620.

BARTH, B-M. (2001). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Retz.

BOWER, M., WOO, K., ROBERTS, M., et WATTERS, P.A. (2006). Wiki pedagogy - A tale of two wikis. Dans International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET 06), Sydney, Australia.

BRESSOUS, P. (2010). Modélisation statistique appliquée aux sciences sociales. Bruxelles : De Boeck

BRODAHL, C., et HANSEN, N. K. (2014). Education students' use of collaborative writing tools in collectively reflective essay papers. *Journal of Information Technology Education : Research*, 13, 91-120.

BROOKS, C. D., et JEONG, A. (2006). Effects of Pre-Structuring Discussion Threads on Group Interaction and Group Performance in Computer-Supported Collaborative Argumentation. *Distance Éducation*, 27(3), 371-390.

CRINON, J. (2010). Communication numérique et pédagogie. *Cahiers pédagogiques*, 482, 16-18.

DE WEVER, B., HÄMÄIÄINEN, R., VOET, M. et GIELEN, M. (2015). A wiki task for first year university students: the effects of scripting student's collaboration. *The Internet and Higher Education*, 25(1), 37-45.

DE LIÈVRE, B., DEPOVER, C., et DILLENBOURG, P. (2006). The relationship between tutoring mode and learners' use of help tools in distance education. *Instructional Science*, 34, 97-129.

DE LIÈVRE, B., TEMPERMAN, G., CAMBIER, J.B., DECAMPS, S., et DEPOVER, C. (2009). Analyse de l'influence des styles d'apprentissage sur les interactions dans les forums collaboratifs. In C. Develotte F. Manganot et E. Nissen (Eds.), *Actes du colloque Epal 2009*, Université Stendhal : Grenoble.

DILLENBOURG, P., et TRAUM, D. (2006). Sharing Solutions: Persistence and Grounding in Multimodal Collaborative Problem Solving. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 121-151.

DILLENBOURG, P., HAKKINEN, P., HAMIAKINEN, R., KOBBE, L., WEINBERGER, A., FISHER, F., et HARRER, A. (2007). Structurer l'environnement collaboratif au moyen d'environnements informatiques. *Éducation et Formation*, 286, 45-50.

ELGORT, I., SMITH, A. G., et TOLAND, J. (2008). Is wiki an effective platform for group course work ?. *Australasian journal of Educational Technology*, 24(2), 195-210.

DEPOVER, C., DE LIÈVRE, B., et TEMPERMAN, G. (2006). Points de vue sur les échanges électroniques et leurs usages en formation à distance. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 13.

D'HAINAUT, L. (1975). *Concepts et méthodes de la statistique*. Bruxelles : Labor.

DILLENBOURG, P. (2011). Pour une conception intégrée du tutorat de groupe. Dans C. Depover, B. De Lièvre, Bruno, J.J. Quintin, D. Peraya, et A. Jaillet (Eds.), *Le tutorat en formation à distance* (pp. 171-194). Bruxelles : De Boeck.

ENGSTROM, M.E., et JEWETT, D. (2005). Collaborative learning the wiki way. *TechTrends*, 49(6), 12-15. Mak, B., et Coniam, D. (2008). Using wikis to enhance and develop writing skills among secondary school students in Hong Kong. *System*, 36, 437-455.

ERKENS, G., et JANSSEN, J. (2008). Automatic coding of dialogue acts in collaboration protocols. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 3(4), 447-470.

GRASHA, A. F. (1996). *Teaching with Style: A Practical Guide to Enhancing Learning by Understanding Teaching and Learning Styles*. New-York : Alliance Publishers.

GREENSPAN, D., AARON, B. et ZAMFIRESCU-PEREIRA, J. (2009). Etherpad (logiciel open source). AppJet Inc. <http://etherpad.org/>

HATTIE, J. (2009). *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. Oxon : Routledge.

JAILLET, A. (2005). Peut-on repérer les effets de l'apprentissage collaboratif à distance ? *Distances et savoirs*, 3(1), 49-66.

**Gaëtan TEMPERMAN, Sébastien WALGRAEVE,
Bruno DE LIEVRE, Karim BOUMAZGUIDA**

JANSSEN, J., ERKENS, G., KIRSCHNER, P.A., et KANSELAAR, G. (2011). Multilevel Analysis in CSCL Research. In S. Puntambekar G. Erkens et C. Hmelo-Silver (Eds.), *Analyzing Interactions in CSCL* (pp. 187-205). Boston : Springer US.

JANSSEN, J., ERKENS, G., KANSELAAR, G., et JASPERS, J. (2007). Visualization of participation : Does it contribute to successful computer-supported collaborative learning ? *Computers & Éducation*, 49(4), 1037-1065.

KONSTANTIDINIS, A. et GRAFTON, C. (2013). Using Excel Macros to analyse Moodle logs, Conference Proceedings 2^e Moodle Research Conference, Sousse, Tunisia, p. 33-39.

LARU, J., NÄYKKI, P. et JÄRVELÄ, S. (2012). Supporting small group learning using multiple Web 2.0 tools: a case study in the higher education context, *The Internet and Higher Education*, 15(1), 29-38.

LAVEAULT, D., et GRÉGOIRE, J. (2002). Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation (2e ed.). Bruxelles : De Boeck.

MAK, B., et CONIAM, D. (2008). Using wikis to enhance and develop writing skills among secondary school students in Hong Kong. *System*, 36, 437-455.

MAYER, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2e ed.). New York : Cambridge University Press.

MICHINOV, N., et PRIMOIS, C. (2005). Improving productivity and creativity in online groups through social comparison process : New evidence for asynchronous electronic brainstorming. *Computers in Human Behavior*, 21(1), 11-28.

NEUMANN, D. L., et HOOD, M. (2009). The Effects of Using a Wiki on Student Engagement and Learning of Report Writing Skills in a University Statistics Course. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(3), 382-398.

PERKINS, D. N. (1995). L'individu-plus. Une vision distribuée de la pensée et de l'apprentissage. *Revue française de pédagogie*, 111(1), 57-71.

QUINTIN, J.-J., et MASPERI, M. (2006). Analyse d'une formation plurilingue à distance : actions et interactions. *ALSIC*, 9, 5-31.

QUINTIN, J.-J. (2008). Accompagnement tutoral d'une formation collective via Internet Analyse des effets de cinq modalités d'intervention tutorale sur l'apprentissage en groupes restreints. Thèse de doctorat, Université Mons-Hainaut, Mons.

RABARDEL, P. (1995). Les hommes et les technologies. Une approche cognitive des instruments contemporains. Paris : Armand Colin.

RAMAN, M., RYAN, T., et OLFMAN, L. (2005). Designing Knowledge Management Systems for Teaching and Learning with Wiki Technology. *Journal of Information Systems Éducation*, 16(3), 311-321.

SHACHAR, H. (2003). Who gains what from cooperative learning : an overview of eight studies. In A. Ashman et R. Gillies (Eds.), *Cooperative Learning: The Social and Intellectual Outcomes of Learning in Groups*. New-York : Routledge.

TEMPERMAN, G., DE LIÈVRE, B., et DEPOVER, C. (2009). Analyse de l'usage de modalités de communication médiatisée lors d'un débat d'opinion mené à distance. In M. Sidir (Ed.), *La communication éducative et les TIC : épistémologie et pratiques*. Paris : Hermès Lavoisier.

TEMPERMAN, G., DE LIÈVRE, B., et LENZ, D. (2009). Ecrire à plusieurs mains dans un wiki : Analyse des processus et des perceptions des étudiants. Dans C.

Develotte, F. Mangenot et E. Nissen (Eds.), *Actes du colloque Epal 2009*, Université Stendhal : Grenoble.

TEMPERMAN, G. (2013) Visualisation du processus collaboratif et assignation de rôles de régulation dans un environnement d'apprentissage à distance. Thèse de doctorat. Université de Mons, Mons.

TAPIERO, I. (2007). Situation Models And Levels of Coherence: Toward a Definition of Comprehension. Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates Inc.

TRICOT, A., PLÉGAT-SOUTJIS, F., CAMPS, J-F., AMIEL, A., LUTZ, G., et MORCILLO, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité: interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. Dans C. Desmoulin P. Marquet et D. Bouhineau (Eds). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (pp. 391-402). Paris : ATIEF

WANG, H.-C., LU, C.-H., YANG, J.-Y., HU, H.-W., CHIOU, G.-F., et CHIANG, Y.-T. (2005). An empirical exploration of using wiki in an English as a second language course. *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp.155-157). Taiwan. doi : 10.1109/ICALT.2005.51

WEINBERGER, A., ERTL, B., FISCHER, F., et MANDL, H. (2005). Epistemic and social scripts in computer-supported collaborative learning. *Instructional Science*, 33(1), 1-30.

WICHADEE, S. (2010). Using Wikis to Develop Summary Writing Abilities of Students in an EFL Class. *Journal of College Teaching et Learning*, 7(12), 5-10.



Un nouveau processus d'évaluation pour améliorer la qualité des feedbacks dans les tests en ligne

► **Franck SILVESTRE, Philippe VIDAL, Julien BROISIN**
(IRIT, Université Toulouse 3 Paul Sabatier)

■ **RÉSUMÉ** • Nos travaux précédents ont introduit la plateforme Tsaap-Notes dédiée à la génération de questionnaires à choix multiples en recyclant (1) les questions interactives posées pendant le cours par l'enseignant, et (2) les explications saisies par les étudiants pour constituer les feedbacks présentés aux étudiants durant les tests. Dans cet article, nous présentons un nouveau processus baptisé « processus en N phases » et son implantation dans Tsaap-Notes qui visent d'une part à augmenter l'engagement des étudiants dans l'activité de rédaction des explications et, d'autre part à améliorer la qualité des feedbacks restitués au sein des tests générés. Notre approche a été validée par une première expérimentation.

■ **MOTS-CLÉS** • Questions interactives, *feedback*, tests informatisés, évaluation par les pairs, instruction par les pairs, processus en N phases.

■ **ABSTRACT** • *Our previous works introduced Tsaap-Notes, a platform able to generate multiple choice test questions providing feedbacks. It reuses interactive questions asked during the lecture by the teacher, as well as the notes taken by students after the presentation of the results; these are used as the feedbacks integrated into the generated tests. In this paper we introduce a new process called N phases process and its implementation within Tsaap-Notes. This process aims on one hand at increasing substantially the number of contributions of students and, on the other hand, at significantly improving the quality of the feedbacks used in the tests. Our approach has been validated during a first experimentation.*

■ **KEYWORDS** • *Interactive questions, feedback, computer assisted assessment, peer assessment, peer instruction, N phases process.*

1. Introduction

Différents travaux (Miller, 2009 ; Ricketts et Wilks, 2002), montrent que les évaluations informatisées facilitent la mise en œuvre d'évaluations formatives fréquentes pour des cohortes comprenant un grand nombre d'étudiants. Aussi, la qualité du feedback proposé aux étudiants et relatif à leurs travaux ou à leurs résultats d'évaluation est une clé de succès pour l'amélioration de leur apprentissage (Black et Wiliam, 1998 ; Hattie et Jaeger, 1998 ; Higgins *et al.*, 2002). David Nicol et Debra Macfarlane-Dick (2006) préconisent ainsi l'utilisation de tests en ligne pour que le feedback puisse être mis à disposition des apprenants à n'importe quel instant, depuis n'importe quel lieu, aussi souvent que l'apprenant le souhaite.

Cependant, dans les systèmes généralistes fournis par les plates-formes d'enseignement en ligne, telles que Moodle, Chamilo, Claroline, Blackboard ou autres dispositifs compatibles avec la spécification IMS QTI (IMS Global Learning Consortium, 2012), le feedback proposé à l'étudiant est par défaut minimaliste : il comprend, pour chaque question, le score de l'étudiant ainsi que la réponse correcte. La saisie par l'enseignant du feedback complémentaire pour chaque question est consommatrice de temps si bien qu'elle n'est pas souvent réalisée.

Nous avons décrit dans Silvestre *et al.* (2014a) l'approche « *Note as feedback* » mise en œuvre dans notre plate-forme Tsaap-Notes (Silvestre *et al.*, 2014b). Tsaap-Notes permet à l'enseignant de poser des questions interactives pendant un cours en face à face. Les étudiants connectés à la plate-forme peuvent répondre aux questions posées par l'enseignant et prendre des notes sur chacune de ces questions suite à la présentation des résultats obtenus par l'ensemble des participants. Les questions gérées par Tsaap-Notes sont des questions décrites au format Moodle Gift, les rendant nativement compatibles avec la plate-forme Moodle. L'approche « *Note as feedback* » permet à l'enseignant de générer de manière automatique un fichier d'export compatible Moodle recyclant (1) les questions interactives posées par l'enseignant pendant le cours, et (2) les notes prises par les étudiants sur les différentes questions. Les notes prises par les étudiants sur une question donnée constituent le feedback présenté à l'étudiant durant son test de révision. Malgré les résultats encourageants obtenus lors des premières expérimentations, deux limites ont clairement été identifiées dans le dispositif « *Note as feedback* » :

(1) bien que la prise de notes augmente quantitativement lorsque les étudiants savent que leurs contributions seront la seule source de

feedback dans les tests de révision, relativement peu d'étudiants participent à l'activité de rédaction des explications nécessaires à la constitution du feedback ;

(2) toutes les notes saisies par les étudiants sur une question donnée sont récupérées de manière automatique pour constituer le feedback du futur test de révision, elles ne sont ni évaluées ni filtrées. Il n'y a donc pas de « contrôle qualité » du feedback intégré aux tests de révision.

Nous présentons dans cet article un nouveau processus baptisé « processus en N phases », ainsi que son implantation dans Tsaap-Notes. Le processus en N phases s'attaque directement aux deux limites évoquées ci-dessus : les activités mises en œuvre dans le processus maximisent, d'une part, la participation des étudiants à la tâche de rédaction d'une explication et, d'autre part, permettent l'évaluation par les étudiants des différentes explications. Tsaap-Notes intègre alors automatiquement les contributions les mieux notées par les étudiants dans les tests générés. La suite de l'article est organisée de la manière suivante : la section 2 présente les sources scientifiques qui ont inspiré la conception du processus en N phases ; la section 3 détaille le processus en utilisant la notation BPMN (*Business Process Model and Notation*) ; la section 4 présente l'implantation du processus dans Tsaap-Notes ; les résultats issus d'une première expérimentation réalisée auprès de deux groupes d'étudiants inscrits en Master Informatique à l'Université Paul Sabatier (Toulouse III) font l'objet de la section 5. Enfin, nous concluons et présentons les perspectives guidant nos travaux futurs dans la section 6.

2. Pourquoi le processus en N phases ?

La première limite révélée par les expérimentations du dispositif « *Note as feedback* » est la trop faible participation des étudiants à la prise de notes. En effet, les résultats présentés dans Silvestre *et al.* (2014b) indiquent que seuls 25 % des étudiants prennent effectivement des notes, alors qu'en moyenne 75 % des étudiants participent aux questions interactives (Silvestre *et al.*, 2014a). Si cette limite impacte la génération des tests de révision car les feedbacks constitués restent peu nombreux, elle questionne également le déroulement du cours en face à face. En effet, si trois quarts des étudiants sont prêts à répondre à une question à choix multiples, pourquoi ne sont-ils qu'un quart à participer à l'activité de rédaction d'une explication ?

Scouller (1998) rappelle que l'évaluation influence considérablement l'apprentissage : la manière d'évaluer un étudiant façonne la quantité de choses qu'il va apprendre, les contenus qu'il va apprendre, ainsi que la manière dont il va les apprendre. La plupart des étudiants concentrent leurs efforts dans l'acquisition des connaissances et des aptitudes cognitives sur lesquelles ils seront évalués. Biggs et Tang (2011) indiquent que les pédagogies dites actives insérant l'étudiant dans des activités cohérentes avec les objectifs pédagogiques d'une part, et avec les tâches d'évaluations d'autre part, favorisent une approche d'apprentissage en profondeur quel que soit le profil de l'apprenant. Les deux auteurs mettent en avant le rôle des évaluations formatives apportant à l'étudiant un feedback tout au long de son apprentissage lui permettant de savoir où il en est par rapport aux connaissances ou compétences visées. L'impact positif des systèmes de votes interactifs sur l'engagement des étudiants révélé par différentes études (Caldwell, 2007 ; Gauci et Dantas, 2009 ; Shaffer et Collura, 2009 ; Uhari *et al.*, 2003) peut s'expliquer en grande partie par sa fonction d'évaluation formative : pendant le cours, les étudiants constatent en temps réel, individuellement et par rapport au groupe, leur degré d'acquisition d'une connaissance ou d'une aptitude cognitive.

Pour augmenter le taux de participation à la rédaction d'explications sur une question posée pendant le cours, nous avons émis l'hypothèse que la tâche de rédaction des explications devait être insérée dans une activité fournissant un feedback immédiat à l'étudiant sur sa production. Le feedback proposé à chaque étudiant par le processus en N phases prend plusieurs formes, allant de la confrontation à des réponses alternatives jusqu'à la présentation du résultat de l'évaluation de sa contribution.

Une évaluation rapide d'un grand nombre d'explications ne peut pas être prise en charge par l'enseignant pendant le cours. Pour fournir rapidement à chaque étudiant une évaluation de son travail, nous avons opté pour l'évaluation par les pairs dont les vertus ont été mises en valeur dans différentes études (Boud *et al.* 2014 ; Dochy *et al.*, 1999 ; Topping, 1998).

La deuxième limite révélée par les expérimentations du dispositif « *Note as feedback* » est l'absence de filtrage dans la sélection des contributions des étudiants pour la constitution des feedbacks dans les tests de révision générés par Tsaap-Notes. L'évaluation des explications par les étudiants permet la mise en œuvre d'un algorithme ne sélectionnant que les contributions les mieux notées par les étudiants.

3. Le processus en N phases

Dans cette section, nous décrivons à l'aide de la notation BPMN 2.0 le processus capable d'intégrer, durant les cours en face à face, la tâche de rédaction d'explications. Ce processus assure l'obtention d'un feedback immédiat pour chaque étudiant sur sa production, ainsi que l'évaluation quasi-immédiate de l'ensemble des productions par les pairs.

3.1. La notation BPMN 2.0

Le langage BPMN 2.0 normalisé par l'OMG (OMG, 2011) est un langage visuel de description de modèles de processus métier qui vise deux objectifs principaux :

- obtenir un langage le plus lisible possible pour l'ensemble des parties prenantes (les personnes du métier, les informaticiens, etc.) ;
- fournir un langage standard de visualisation pour des processus métiers définis à l'aide d'un langage exécutable tel que WSBPEL (OASIS, 2007).

L'OMG indique que BPMN 2.0 regroupe l'ensemble des bonnes pratiques ayant émergé de l'utilisation de langages antérieurs (diagrammes d'activités UML, UML EDOC *Business Processes*, IDEF, ebXML BPSS, diagrammes *Activity-Decision Flow*, RosettaNet, etc.). D'autre part, BPMN commence à susciter la curiosité de chercheurs s'intéressant aux environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) : Da Costa et Schneider (2015) invitent à l'expérimentation du langage pour décrire des processus correspondant à des situations d'apprentissage afin de mettre BPMN à l'épreuve dans ce champ de recherche. Les ambitions affichées de l'OMG sur BPMN 2.0 et la démarche proposée par Da Costa et Schneider ont orienté notre choix de BPMN 2.0 pour décrire le processus en N phases.

3.2. Le processus en N phases

La figure 1 fournit un aperçu du processus en N phases au format BPMN dans sa mise en œuvre nominale comprenant quatre phases.

La première phase illustrée par la figure 2 correspond à la pose de la question par l'enseignant, et au recueil des réponses formulées par les étudiants. Le processus est conçu de telle sorte que les réponses puissent contenir des éléments saisis sous forme de texte libre.

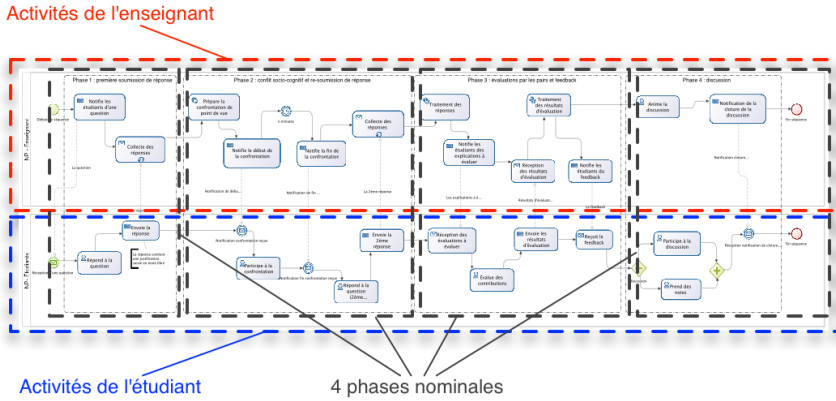


Figure 1 • Aperçu global du processus en N phases

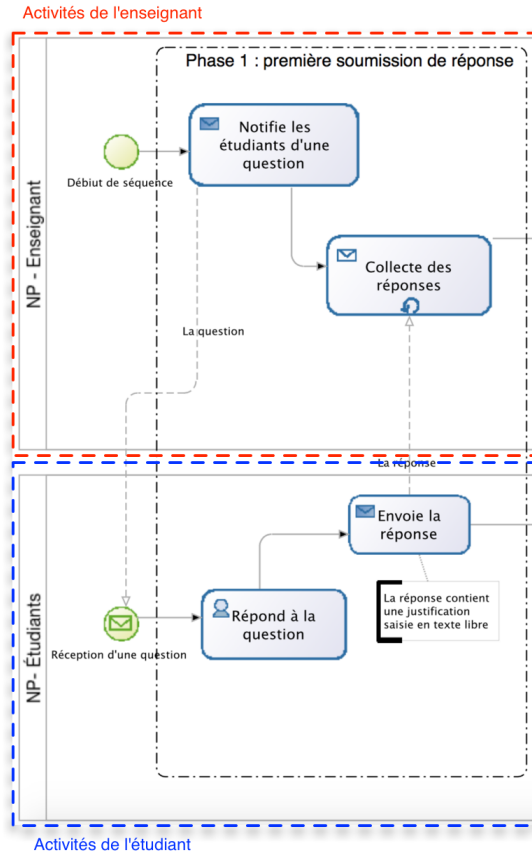



Figure 2 • Phase 1 du processus en N phases

La deuxième phase détaillée sur la figure 3 a été conçue pour intégrer explicitement la confrontation de points de vue au cœur du processus : à chaque étudiant est proposée une réponse différente de la sienne, et fournie par un autre étudiant. Le symbole  sur l'activité de préparation de la confrontation indique que la tâche est automatisée. Cette phase propose un premier feedback textuel à l'étudiant à travers la proposition d'une réponse alternative. L'étudiant confronte sa réponse à la réponse différente proposée par l'un de ses pairs. Il peut alors conforter ou modifier sa réponse.

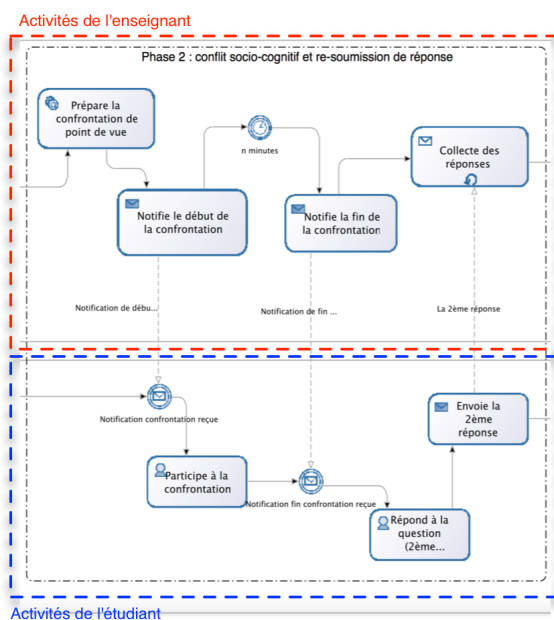


Figure 3 • Phase 2 du processus en N phases

Cette phase vise le même objectif que la phase de discussion proposée par Mazur dans son protocole d'« Instruction par les pairs » : augmenter le nombre de bonnes réponses grâce à la confrontation des points de vue entre pairs. En effet, le protocole de Mazur consiste, pour une même question, à sonder les étudiants 2 fois : une première fois après une phase de réflexion individuelle, puis une deuxième fois après que les étudiants ont été invités à convaincre leurs voisins du bien-fondé de la réponse qu'ils ont fournie à l'issue du premier sondage. Les résultats du deuxième sondage révèlent un plus grand nombre de bonnes réponses (Crouch et Mazur, 2001).

La troisième phase exposée sur la figure 4 est dédiée à l'évaluation par les pairs des réponses. L'activité d'évaluation des réponses textuelles est déléguée aux étudiants. Chaque étudiant reçoit un lot de réponses à évaluer ; les résultats des évaluations réalisées par les étudiants sont traités afin de fournir un feedback immédiat. Cette approche règle la question de l'évaluation en temps réel de réponses textuelles en parallélisant ce traitement auprès des différents étudiants.

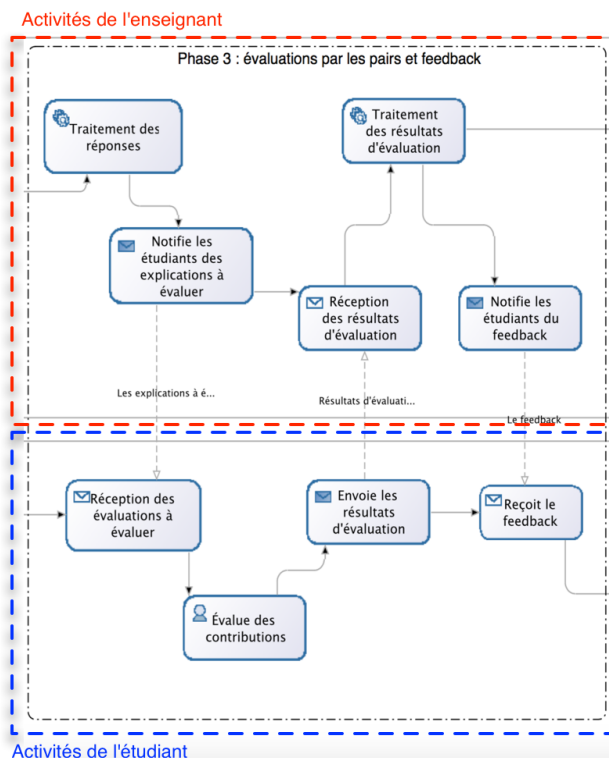


Figure 4 • Phase 3 du processus en N phases

La quatrième phase (figure 5) est la phase de discussion animée par l'enseignant suite à la présentation du feedback aux étudiants. Ces derniers participent à la discussion en prenant éventuellement des notes.

Une variante de la mise en œuvre du processus est la répétition ou la suppression de certaines phases. Par exemple, la seconde phase peut être répétée pour confronter chaque étudiant à différentes réponses alternatives, ou être supprimée dans le cas où les étudiants ont répondu à l'unani-

mité correctement à la question posée. Dans ce cas, le processus met en œuvre N phases où N dépend du nombre d'exécutions de chaque phase.

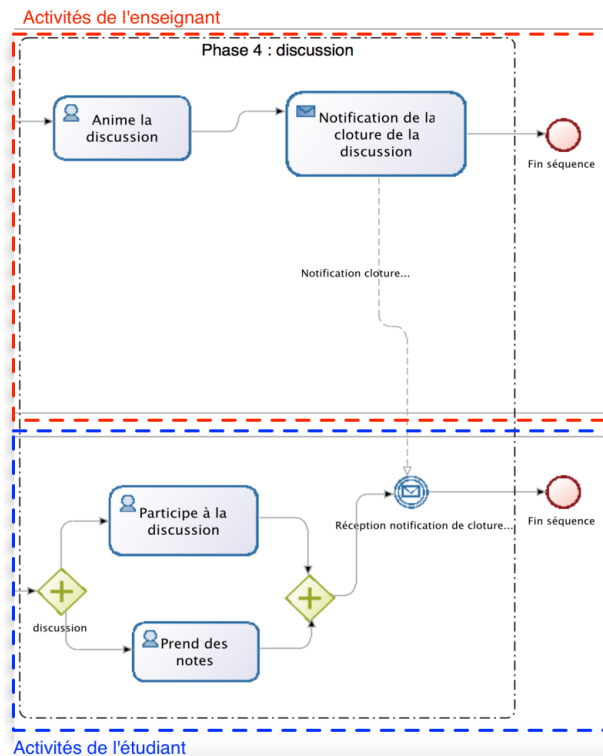


Figure 5 • Phase 4 du processus en N phases

4. Implantation du processus en N phases

Cette section présente le processus en N phases sous l'angle de son implantation dans Tsaap-Notes.

4.1. Du processus en N phases à Tsaap-Notes

La première phase consiste à proposer à l'étudiant un formulaire lui permettant de (1) de répondre à une question à choix multiples, (2) de saisir l'explication justifiant son choix, et (3) d'indiquer son degré de confiance en sa réponse. La figure 6 présente le formulaire tel qu'il a été implanté dans Tsaap-Notes. Notons que le degré de confiance indiqué par chaque étudiant est un des éléments clés de l'algorithme sous-tendant l'implantation de la deuxième phase.

@FranckSilvestre Master/Informatique/DL/2013_2015/DCLL/1 13 janvier 2015 15:32

La licence GPL et Javascript

Soit L une librairie javascript distribuée sous licence GPL . Soit E une entreprise qui modifie la librairie L pour en faire une version L2. L'entreprise E propose à des utilisateurs son application serveur qui utilise la version L2 de la librairie. Est ce que les utilisateurs peuvent exiger de récupérer le code source de la version L2 du logiciel ?

Oui
 Non

Give an explanation to your choice

What is the degree of confidence in your response (1: not confident to 5:very confident) ? 1

Submit

Reply Favorite Learn

Figure 6 • Formulaire correspondant à la première phase

@FranckSilvestre Master/Informatique/DL/2013_2015/DCLL/1 13 janvier 2015 15:32

Here is an alternative response to yours.
Please examine this response and then feel free to change your response, explanation or confidence degree if necessary.

Oui
Le javascript étant exécuté côté client, l'utilisateur a une copie, la contamination du GPL force donc la possibilité d'accès au code à l'utilisateur.

Réponse alternative

La licence GPL et Javascript

Soit L une librairie javascript distribuée sous licence GPL . Soit E une entreprise qui modifie la librairie L pour en faire une version L2. L'entreprise E propose à des utilisateurs son application serveur qui utilise la version L2 de la librairie. Est ce que les utilisateurs peuvent exiger de récupérer le code source de la version L2 du logiciel ?

Oui
 Non

Give an explanation to your choice

En tant qu'utilisateurs de l'application serveur, on se retrouve dans le même cas que précédemment, on n'a pas de copie du logiciel. On ne peut donc toujours pas exiger récupérer le code.

What is the degree of confidence in your response (1: not confident to 5:very confident) ? 3

Submit

Second formulaire de soumission : une chance de modifier la première réponse

Reply Favorite Learn

Figure 7 • Formulaire correspondant à la deuxième phase

La deuxième phase (*i.e.* la confrontation de points de vue et la resoumission d'une réponse) consiste à présenter à l'étudiant le même formulaire, mais cette fois pré-rempli avec les éléments de sa précédente réponse, et accompagné d'une réponse différente de la sienne qui a été fournie par un autre étudiant participant à la même session interactive.

La figure 7 illustre l'interface correspondant à cette phase au sein de Tsaap-Notes. Notons qu'aucune indication sur l'identité de l'auteur de la réponse alternative n'est présentée à l'étudiant afin d'écartier tout phénomène parasite d'influence relationnelle.

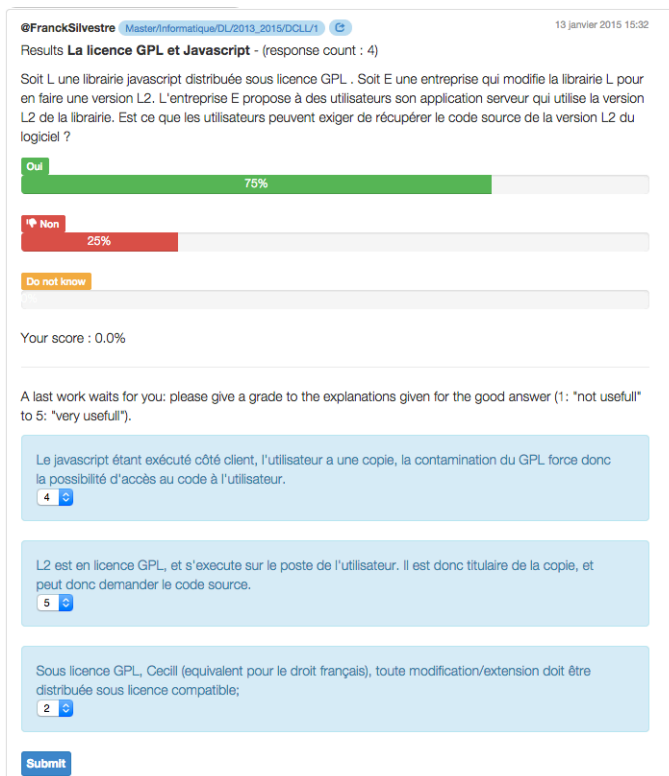


Figure 8 • Formulaire correspondant à la troisième phase

La troisième phase (*i.e.* évaluation par les pairs et feedback) illustrée par la figure 8 présente les résultats obtenus par l'ensemble des étudiants ayant participé au questionnaire ; chaque étudiant prend donc connaissance du score qu'il a obtenu à la question en cours. Dans cette même interface, chaque étudiant est invité à évaluer, à l'aide d'une échelle de Lickert graduée de 1 à 5, trois explications distinctes correspondant chacune à la bonne réponse. Durant cette phase, chaque étudiant est en situation d'évaluateur des productions provenant de ses pairs. L'algori-

thme utilisé pour la répartition des explications à évaluer a été conçu pour maximiser le nombre d'évaluateurs différents par explication.

Pour la quatrième phase (*i.e.* discussion), Tsaap-Notes calcule la note moyenne de chaque explication évaluée et présente les résultats du processus d'évaluation sous la forme d'une liste ordonnée par ordre décroissant des explications évaluées. La discussion est animée par l'enseignant. Les étudiants peuvent prendre des notes à l'aide de Tsaap-Notes au cours de la discussion.

La génération automatique du fichier d'export Moodle contenant les questions et feedbacks du test de révision a été modifiée afin que les feedbacks ne soient constitués, pour une question donnée, que des explications ayant une évaluation moyenne supérieure à 2,5.

4.2. L'algorithme d'association des réponses pour la confrontation de points de vue

La phase 2 du processus en N phases, dont l'objectif est de provoquer une confrontation de points de vue, nécessite la mise en œuvre d'un algorithme capable d'associer de manière pertinente deux réponses obtenues à l'issue de la phase 1. Le principe sous-tendant notre algorithme consiste à associer une réponse a_i à une réponse a_j lorsque les deux réponses ont fait l'objet de choix distincts et que l'explication associée à a_i est de taille minimale ; si plusieurs réponses peuvent être associées à a_j , l'algorithme privilégie la diversité dans l'association des réponses afin d'exposer des associations différentes aux apprenants, tout en favorisant les réponses ayant le plus fort degré de confiance.

Afin de présenter notre algorithme, nous proposons dans ce qui suit une formalisation du problème et des éléments de la solution retenue.

Définition 1. Une réponse a à une question à choix multiples est un quadruplet $a = (s ; d ; e ; r)$ où

- s est le score calculé en fonction de la réponse de l'étudiant ;
- d est le degré de confiance fourni par l'étudiant sur sa réponse ;
- e est le nombre de caractères composant l'explication fournie par l'étudiant.
- r est le rang de la réponse dans la liste des réponses collectées.

Dans la suite du document, q désigne une question à choix multiples.

Propriété 1. Soit A l'ensemble des réponses obtenues à q . La relation \geq sur A définie par

$$\forall (a_i = (s_i; d_i; e_i; r_i), a_k = (s_k; d_k; e_k; r_k)) \in A^2,$$

$$a_i \geq a_k \Leftrightarrow d_i > d_k \text{ ou } d_i = d_k \text{ et } r_i \geq r_k$$

est une relation d'ordre sur A permettant d'ordonner les réponses obtenues suivant leur degré de confiance.

Définition 2. L'ensemble des réponses correctes à q , noté A_c , est défini comme suit

$$A_c = \{a_i = (s_i; d_i; e_i; r_i) \in A | s_i = \text{MaxScore}\}$$

où MaxScore est le score maximum qu'un étudiant peut obtenir à une question q .

Définition 3. L'ensemble des réponses incorrectes à q , noté $\overline{A_c}$, est le complémentaire de A_c dans A .

Définition 4. L'ensemble des réponses à q pouvant être proposées pour constituer une confrontation de points de vue est l'ensemble

$$C = \{a_i = (s_i; d_i; e_i; r_i) \in A | e_i > \text{TailleMinExp}\}$$

où TailleMinExp est la taille minimum requise d'une explication pour qu'une réponse soit considérée comme associable lorsqu'il s'agit de déclencher une confrontation de points de vue.

Définition 5. L'ensemble des réponses correctes à q pouvant être proposées pour déclencher une confrontation de points de vue est l'ensemble $C_c = C \cap A_c$

Définition 6. L'ensemble des réponses incorrectes à q pouvant être proposées pour constituer une confrontation, noté $\overline{C_c}$, est le complémentaire de C_c dans C .

Définition 7.

Soit $A_c = \{a'_1, a'_2, \dots, a'_n\}$ où $\forall (i; j) \in \{1, \dots, n\}^2, i < j \Rightarrow a'_i > a'_j$

l'ensemble réordonné des réponses correctes à q .

Soit $\overline{C_c} = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_p\}$ où $\forall (i; j) \in \{1, \dots, p\}^2, i < j \Rightarrow c'_i > c'_j$

l'ensemble réordonné des réponses incorrectes à q pouvant être proposées pour constituer une confrontation.

La fonction $f: A_c \longrightarrow \overline{C_c}$ est la fonction associant à tout élément $a'_i \in A_c$ l'élément $f(a'_i) = c'_{i \bmod p}$ où $i \bmod p$ est le reste de la division euclidienne de i par p .

Définition 8.

Soit $\overline{A}_c = \{a''_1, a''_2, \dots, a''_m\}$ où $\forall (i; j) \in \{1, \dots, m\}^2, i < j \Rightarrow a''_i > a''_j$

l'ensemble réordonné des réponses incorrectes à q , ordonnées suivant le degré de confiance.

Soit $C_c = \{c''_1, c''_2, \dots, c''_l\}$ où $\forall (i; j) \in \{1, \dots, l\}^2, i < j \Rightarrow c''_i > c''_j$

l'ensemble réordonné des réponses correctes à q pouvant être proposées pour constituer une confrontation, ordonnées suivant le degré de confiance.

La fonction $g: \overline{A}_c \rightarrow C_c$ est la fonction associant à tout élément $a''_i \in \overline{A}_c$ l'élément $g(a''_i) = c''_{i \bmod l}$.

À partir de ces définitions, la figure 9 illustre les différentes étapes de l'algorithme développé dans Tsap-Notes sur un exemple simplifié, où le 4e élément du quadruplet (rang) correspond à l'indice i de la réponse a_i .

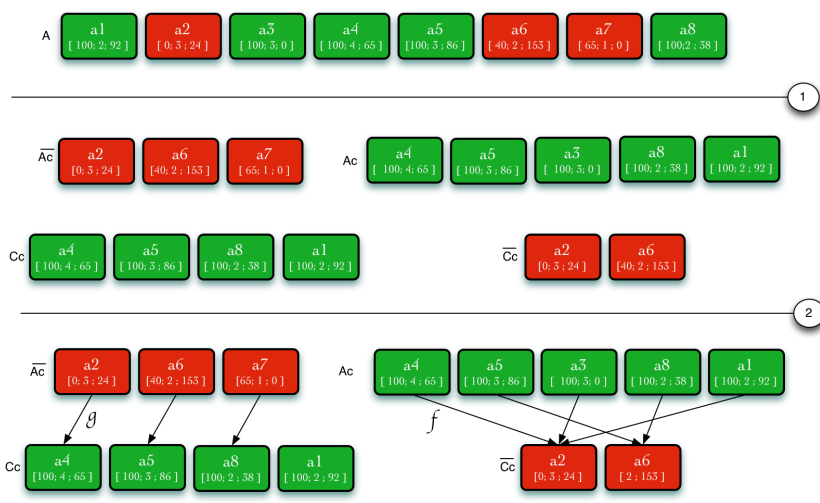


Figure 9 • Les étapes de l'algorithme d'association de réponses pour la constitution d'une confrontation de points de vue

Les réponses correctes et incorrectes sont respectivement représentées par les rectangles verts et rouges. La première étape prend en entrée l'ensemble A de toutes les réponses et crée les 4 ensembles A_c , \overline{A}_c , C_c et \overline{C}_c . L'ensemble A_c contient la liste des réponses correctes ordonnées suivant leur degré de confiance ; l'ensemble \overline{C}_c contient les réponses qui pourront être affectées aux réponses correctes pour la confrontation de points de

vue. De manière symétrique, l'ensemble $\overline{A_c}$ contient les réponses incorrectes; l'ensemble C_c contient les réponses qui pourront être affectées aux réponses incorrectes. Dans l'implémentation actuelle de Tsap-Notes le score maximum qui peut être obtenu à une question est toujours 100. En conséquence, le paramètre *MaxScore* a été fixé à cette même valeur. Le paramètre *TailleMinExp* correspondant à la taille minimum requise d'une explication pour qu'une réponse soit considérée comme associable pour déclencher une confrontation de points de vue a été fixé à 10.

La deuxième étape de l'algorithme récupère dans un tableau associatif le résultat de l'application de la fonction f (respectivement g) sur tous les éléments de l'ensemble A_c (respectivement $\overline{A_c}$). Ce tableau associatif stocke donc, pour chaque réponse, la réponse qui lui est associée dans la phase de confrontation de points de vue.

L'algorithme a pu être testé en situation auprès de deux groupes d'étudiants. La section suivante présente le détail de l'expérimentation.

5. Résultats issus de la première expérimentation

L'expérimentation avait pour objectif la validation des hypothèses suivantes :

- le fait de proposer une évaluation en temps réel des réponses textuelles engage fortement les étudiants dans les tâches de rédaction de texte (rédaction des explications);
- la mise en situation de confrontation de points de vue a un impact positif sur la quantité de bonnes réponses fournies à la deuxième soumission ;
- l'évaluation par les pairs suscite un fort engagement des étudiants et est valide vis-à-vis de l'usage qui en est fait (i.e., la sélection du feedback dans les tests de révision);
- les étudiants perçoivent Tsap-Notes comme ayant une bonne utilisabilité.

L'implantation du processus en N phases fourni par Tsap-Notes a été expérimentée avec deux groupes d'étudiants dans le cadre de deux cours de Master 1 mention Informatique. L'expérimentation s'est déroulée sur 3 sessions de 2 heures pendant lesquelles 5 questions mobilisant le processus en N phases, ont été posées aux étudiants.

5.1. Résultats quantitatifs

Le tableau 1 montre un taux moyen de participation des étudiants proche de 88 % sur l'activité de soumission d'une réponse à une question ; ce taux de participation élevé est cohérent avec les autres études relatives aux systèmes de votes interactifs.

Tableau 1 • Synthèse des résultats obtenus sur deux séances

Code cours	Code question	Nombre de présents	Nombre de réponses soumises	Taux de participations
DCLL	DCLL-1	51	37	72,5%
DCLL	DCLL-2	51	41	80,4%
MA	MA-1	34	34	100%
MA	MA-2	34	34	100%
MA	MA-3	34	32	94,1%
Moyenne	-	40,8	35,6	87,8%

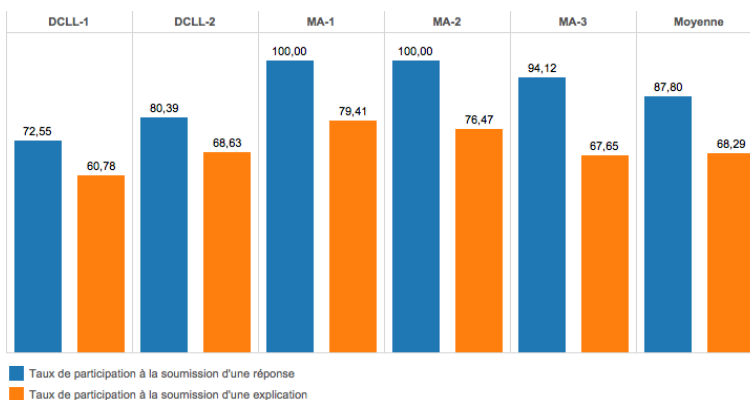


Figure 10 • Les taux de participation sur les soumissions de réponses et d'explications

Un indicateur remarquable est le taux de participation des étudiants dans la soumission d'une explication : la figure 10 montre un taux moyen de participation de 68,29 % pour l'activité de soumission d'une explication pour justifier leur réponse. Même si le taux de participation est en dessous de celui observé sur la soumission d'une réponse (87,8 %), il représente une très importante augmentation du taux de participation à une activité exigeant la saisie de texte libre (au mieux 25 % constaté dans (Silvestre *et al.*, 2014a)).

La figure 11 révèle, d'autre part, qu'entre la première phase et la deuxième, en moyenne 30 % des étudiants ayant soumis une mauvaise réponse en première intention ont modifié leur réponse et leur explication. Ceux-ci ont donc pleinement bénéficié de la confrontation de points de vue, qui les a amenés à modifier leur croyance sur ce qui était vrai ou faux. Cette augmentation du nombre de réponses correctes est similaire à celle constatée dans les mises en œuvre du protocole d'« Instruction par les pairs ». En effet, dans leur étude de 2001 (Crouch et Mazur, 2001), les auteurs recensent une augmentation moyenne du nombre de bonnes réponses de 32 % entre le premier et le deuxième sondage.

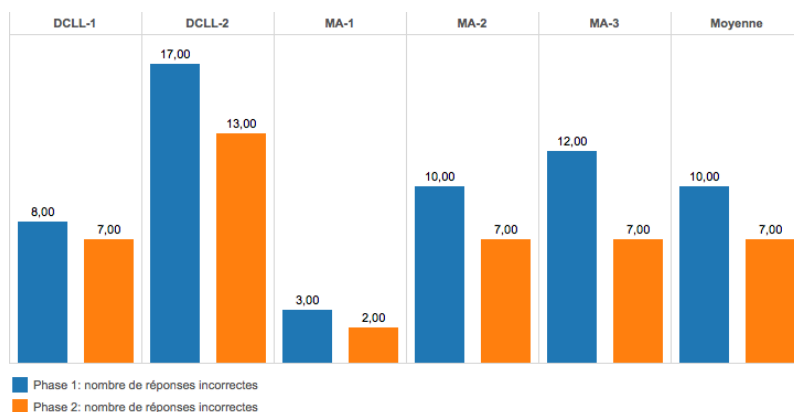


Figure 11 • Nombre de mauvaises réponses en phase 1 et en phase 2

Enfin, la figure 12 indique que 75,6 % des étudiants ont participé à la tâche d'évaluation de trois explications fournies par les pairs. Cette tâche est proposée en phase 3 du processus et n'est pas obligatoire. Le nombre moyen d'évaluateurs par explication est de 4,17 pour une moyenne de 40,8 étudiants présents et de 22,8 explications à évaluer. L'écart-type moyen des notes distribuées par les étudiants (comprises entre 1 et 5) sur les explications est de 0.98. Si cet écart-type moyen est non négligeable puisqu'il signifie que les notes d'un étudiant à l'autre varient de 20 % en moyenne, il nous semble raisonnable pour l'usage que nous en faisons, à savoir la sélection des explications les mieux notées pour générer le feedback dans les tests de révision.

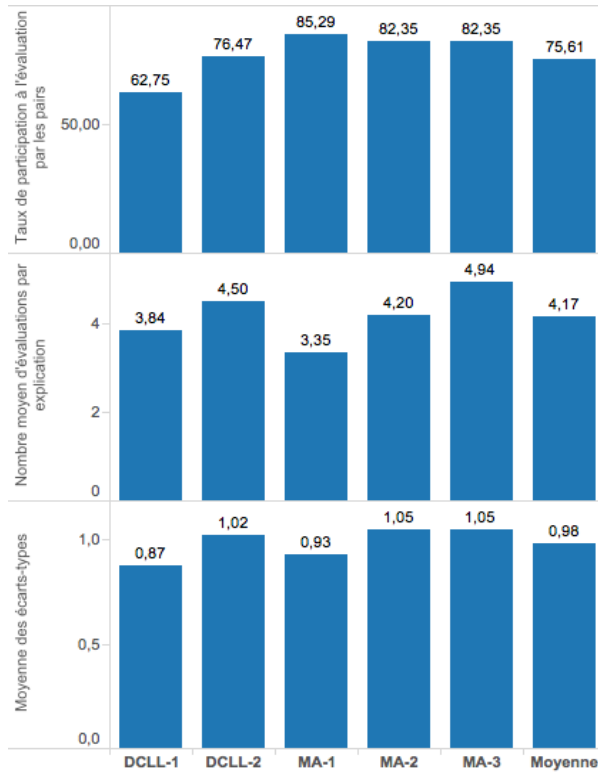


Figure 12 • Taux de participation à la tâche d'évaluation par les pair

5.1. Résultats qualitatifs

Tous les étudiants ayant participé à l'expérimentation ont été contactés pour répondre au questionnaire *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 1996). Le SUS s'est imposé comme un standard de l'industrie pour évaluer de manière simple et efficace l'utilisabilité d'un système. Le SUS est composé de dix items dont l'évaluation attendue se répartit sur une échelle de Lickert à cinq niveaux: le premier niveau correspond à l'évaluation « Pas du tout d'accord » et le cinquième niveau correspond à l'évaluation « Tout à fait d'accord ». Le tableau 2 présente les dix items du SUS dans leur version originale en anglais et dans leur version traduite en français (version proposée aux étudiants de notre expérimentation).

Tableau 2 • Les items du System Usability Scale

	Version originale	Version française
1	<i>I think that I would like to use this system frequently.</i>	Je pense que je voudrais utiliser ce système fréquemment.
2	<i>I found the system unnecessarily complex.</i>	J'ai trouvé le système inutilement complexe.
3	<i>I thought the system was easy to use.</i>	J'ai pensé que le système était facile à utiliser.
4	<i>I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.</i>	Je pense que j'aurais besoin du support d'une personne technique pour être capable d'utiliser le système.
5	<i>I found the various functions in this system were well integrated.</i>	J'ai trouvé que les différentes fonctions du système étaient bien intégrées.
6	<i>I thought there was too much inconsistency in this system.</i>	J'ai pensé qu'il y avait trop de d'incohérence dans ce système.
7	<i>I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.</i>	J'imagine que la plupart des gens apprendraient à utiliser le système très rapidement.
8	<i>I found the system very cumbersome to use.</i>	J'ai trouvé le système très lourd à utiliser.
9	<i>I felt very confident using the system.</i>	Je me suis senti à l'aise en utilisant le système.
10	<i>I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.</i>	J'ai eu besoin d'apprendre beaucoup de choses avant de pouvoir utiliser le système.

Pour calculer le score SUS, il faut commencer par additionner le score de chaque item. Pour les items 1, 3, 5, 7 et 9, le score est le niveau de l'échelle de Lickert moins 1. Pour les items 2, 4, 6, 8 et 10, le score est 5 moins le niveau de l'échelle de Lickert. Chaque score d'item varie de 0 à 4, la somme des scores des 10 items donne un résultat sur 40. Il faut donc multiplier le résultat obtenu par 2,5 pour obtenir le score SUS sur 100. Les recherches sur l'utilisation du SUS (Brooke, 2013) ont conduit à considérer un système comme étant en dessous de la moyenne quand il obtient un score en dessous de 68. Le SUS permet de mesurer l'utilisabilité perçue d'un système avec un nombre restreint de participants au sondage : entre 8 et 12 (Tullis et Stetson, 2004). Nous avons recueilli 43 réponses au questionnaire ce qui est donc tout à fait recevable pour la mesure de l'utilisabilité de Tsaap-Notes. Le score SUS obtenu pour Tsaap-Notes est de 77,8. Il peut donc être considéré comme un système perçu comme ayant une bonne utilisabilité par les étudiants (Bangor *et al.*, 2009). Nous n'avons pas pu proposer le questionnaire aux enseignants car actuellement, en dehors du concepteur de la plateforme, un seul enseignant utilise Tsaap-Notes.

5.2. Synthèse des résultats

Les résultats issus de l'expérimentation montrent que les étudiants s'engagent largement dans les tâches de rédaction d'explications. La mise en situation de confrontation de points de vue a un impact positif sur la quantité de réponses correctes fournies après la deuxième soumission. L'évaluation par les pairs engage la grande majorité des étudiants, permettant ainsi la sélection des meilleures explications en vue de leur recyclage dans les tests de révision. Enfin, les réponses apportées par les étudiants au questionnaire SUS montrent que le système Tsaap-Notes est perçu comme ayant une bonne utilisabilité.

6. Conclusion et perspectives

La plate-forme Tsaap-Notes permet la génération semi-automatique de questionnaires à choix multiples pourvus de feedbacks en recyclant (1) les questions interactives posées pendant le cours par l'enseignant, et (2) les notes prises par les étudiants pour constituer les feedbacks présentés aux étudiants durant les tests. Dans cet article, nous avons présenté le processus en N phases que nous avons conçu et décrit son implantation dans Tsaap-Notes. L'objectif de ce processus consiste d'une part à augmenter le nombre de contributions des étudiants et, d'autre part, à améliorer de manière significative la qualité des feedbacks restitués au sein des tests générés. Le processus présenté découpe la soumission d'une réponse en plusieurs phases permettant la collecte, la confrontation et l'évaluation des explications textuelles fournies par les étudiants. Les explications les mieux évaluées par les pairs accompagnant les réponses correctes sont celles qui sont intégrées comme feedback lors de la génération des tests par Tsaap-Notes, améliorant ainsi la qualité globale des évaluations formatives. Les résultats d'une première expérimentation menée auprès de deux groupes d'étudiants inscrits en Master Informatique sont très encourageants : ils montrent une augmentation accrue de la participation des étudiants à la tâche de rédaction d'explications, permettant ainsi à l'algorithme de filtrage des contributions pour la constitution de *feedback* de s'appliquer sur un volume de données significatif.

Au cœur de l'implantation du processus en N phases, l'algorithme détaillé dans la section 3 permet d'associer, à une réponse donnée, une autre réponse dans l'objectif de déclencher une éventuelle confrontation de points de vue. Aujourd'hui, cet algorithme ne prend en considération que très peu d'informations relatives aux apprenants : seuls le score

obtenu à la question courante, la taille de l'explication et son degré de confiance sur la réponse fournie sont utilisés pour déterminer une réponse alternative. Les résultats obtenus sur les différentes questions, l'aptitude à convaincre (i.e. à faire changer d'avis un autre étudiant suite à la confrontation de points de vue) sont autant de données qui pourraient être exploitées pour améliorer l'algorithme.

D'autre part, ce dispositif est aujourd'hui mis en œuvre dans le contexte de cours dispensés en face à face. Il nous paraît intéressant d'adapter et de tester le dispositif dans le cadre d'un Cours Ouvert Massif en Ligne (MOOC). En effet, les MOOC intègrent déjà des dispositifs tels que les forums de discussion permettant aux apprenants de s'accompagner mutuellement. Cependant, ce type de dispositif ne garantit pas la participation de tous les apprenants et donc ne garantit pas que tous les apprenants bénéficient d'un accompagnement par les pairs. La mise en situation de confrontation de points de vue telle qu'elle est proposée dans le processus en N phases tire parti des productions de l'ensemble des apprenants, pour l'ensemble des apprenants. Nous envisageons donc, dans la suite de nos travaux, d'adapter si nécessaire et d'expérimenter notre dispositif dans le cadre de MOOC, avant d'améliorer l'algorithme en exploitant la masse importante de données qui peut être recueillie dans un tel contexte d'apprentissage.

BIBLIOGRAPHIE

BANGOR, A., KORTUM, P. et MILLER, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3), 114-123.

BIGGS, J. et TANG, C. (2011). *Teaching for quality learning at university: What the student does (4^e éd.)*. McGraw-Hill Education (UK).

BLACK, P. et WILLIAM, D. (1998). Assessment and Classroom Learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7-74, doi:10.1080/0969595980050102

BOUD, D., COHEN, R. et SAMPSON, J. (2014). *Peer learning in higher education: Learning from and with each other*. Routledge.

BROOKE, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189-194

BROOKE, J. (2013). SUS : a retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29-40.

CALDWELL, J. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. *CBE-Life Sciences Education*, 6, 9-20. Repéré à <http://www.lifescied.org/content/6/1/9.short>

CROUCH, C. H. et MAZUR, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American journal of physics*, 69(9), 970-977.

DA COSTA, J. et SCHNEIDER, D. K. (2015). Modélisation et implémentation de dispositifs pédagogiques avec BPMN 2.0. Dans Actes de la 7ème conférence sur les *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2015)* (p. 282-287). Repéré à http://atief.fr/sitesConf/eiah2015/uploads/Actes_EIAH2015.pdf

DOCHY, F., SEGERS, M. et SLUIJSMANS, D. (1999). The use of self-, peer and co-assessment in higher education: A review. *Studies in Higher education*, 24(3), 331-350.

GAUCI, S. et DANTAS, A. (2009). Promoting student-centered active learning in lectures with a personal response system. *Advances in Physiology Education*, 33(1), 60-71. Repéré à <http://advan.physiology.org/content/33/1/60?rss=1&ssource=mfr>

HATTIE, J. et JAEGER, R. (1998). Assessment and classroom learning: A deductive approach. *Assessment in Education: principles, policy & practice*, 5(1), 111-122.

HIGGINS, R., HARTLEY, P. et SKELTON, A. (2002). The conscientious consumer: reconsidering the role of assessment feedback in student learning. *Studies in Higher Education*, 27(1). doi:10.1080/0307507012009936

IMS Global Learning Consortium. (2012). *IMS Question & Test Interoperability Specification*. Repéré à <https://www.imsglobal.org/question/index.html>

MILLER, T. (2009). Formative computer-based assessment in higher education: The effectiveness of feedback in supporting student learning. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 34(2), 181-192.

NICOL, D. et MACFARLANE-DICK, D. (2006). Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. *Studies in higher education*, 31(2), 199-218.

OASIS W. (2007). *Web Services Business Process Execution Language Version 2.0*. Repéré à <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>

OMG, B. (2011). *Business Process Model And Notation (BPMN) Version 2.0*. Repéré à <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>

RICKETTS, C. et WILKS, S. (2002). Improving student performance through computer-based assessment: Insights from recent research. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 27(5), 475-479. doi:10.1080/026029302200000934

SCOLLER, K. (1998). The influence of assessment method on students' learning approaches: Multiple choice question examination versus assignment essay. *Higher Education*. 35(4), 453-472. Repéré à <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1003196224280>

SHAFFER, D. et COLLURA, M. (2009). Evaluating the effectiveness of a personal response system in the classroom. *Teaching of Psychology*, 36(4), 273-277.

SILVESTRE, F., VIDAL, P. et BROISIN, J. (2014a). Génération semi-automatique de tests d'auto-évaluation pourvus de feedback résultant de la prise de notes collaborative. Dans *Actes du Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement (TICE 2014)* (p. 144-155). Repéré à <https://hal.inria.fr/hal-01187103/file/actes-TICE.pdf>

SILVESTRE, F., VIDAL, P. et BROISIN, J. (2014b). Tsaap-Notes--An Open Micro-blogging Tool for Collaborative Notetaking during Face-to-Face Lectures. Dans *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2014)* (p. 39-43). Repéré à http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6901393

TOPPING, K. (1998). Peer assessment between students in colleges and universities. *Review of educational Research*, 68(3), 249-276.

TULLIS, T. S. et STETSON, J. N. (2004). A comparison of questionnaires for assessing website usability. Dans *Proceedings of the Usability Professional Association Conference*, 1-12.

UHARI, M., RENKO, M. et SOINI, H. (2003). Experiences of using an interactive audience response system in lectures. *BMC Medical Education*, 3(1), 12.



Analyse des comportements sociaux dans le cadre d'un apprentissage collectif de la programmation d'un robot de sol

► **Albert STREBELLE, Lionel MÉLOT, Amandine DUCARME, Christian DEPOVER**
(Unité de Technologie de l'Éducation, Université de Mons)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article a trait à l'apprentissage collectif mis en place dans le cadre d'activités de programmation du robot de sol *Bee-Bot* réalisées en contexte scolaire. Nous y proposons une méthode d'analyse des comportements sociaux de jeunes enfants amenés à collaborer au sein de groupes de travail de taille restreinte. Cette méthode a été mise en œuvre dans le cadre d'une observation participante dont l'objet était d'analyser l'investissement personnel de chacun des 21 élèves du primaire âgés de 5 à 6 ans et de déterminer la manière dont la collaboration intra-groupe s'opère. Les résultats de la recherche ont permis de déterminer cinq types de profils : les comportements de compétiteurs, de leaders, de conciliants, de suiveurs et de désinvestis ainsi que de mettre en évidence des dynamiques collectives en fonction de la combinaison des profils.

■ **MOTS-CLÉS** • Apprentissage collectif, interactions sociales, profils de comportements sociaux, robotique éducative

■ **ABSTRACT** • *The article focuses on collaborative learning in the frame of programming activities of the Bee-Bot floor robot in school. We propose a method to analyse social behaviour of young children when they collaborate in small groups. This method took place in the frame of a participative observation whose goal was to analyse personal investment of the 21 pupils in primary school, aged five to six. On the other hand, the focus is set on determination of the way the intra-group collaboration operates. One of the outcomes of the research is the determination of fives behaviour profiles: competitors, leaders, conciliators, followers, not implicated ones and of collaborative dynamics based on combinations of profiles.*

■ **KEYWORDS** • *Collaborative learning, social interactions, social behaviour profiles, educative robotic*

1. Introduction

1.1. Apprentissage collectif

L'objet de la recherche que nous allons présenter ici concerne les interactions sociales entre apprenants dans le cadre de l'exploitation d'un outil technologique conçu pour l'apprentissage des jeunes enfants âgés de quatre à sept ans. Des activités collectives ont été conçues et mises en place de manière à favoriser les interactions entre apprenants au sein de groupes de travail de taille restreinte dans un contexte scolaire. La finalité de ces activités réside en un partage de connaissances et une construction commune de compétences. Dans cette perspective, la scénarisation pédagogique vise la mise en place de conditions propices à un apprentissage collectif défini comme « un mode de partage et de construction de connaissances se réalisant lors de l'interaction entre apprenants » (George, 2004, p.2). Ce type d'apprentissage se fonde sur les approches socio-culturelle (Vygotsky, 1978, 2013) et socio-constructiviste (Doisy et Mugny, 1981, 1997) de la psychologie du développement. Dans le cadre de ces approches, l'enseignant initie des activités collectives qui sont susceptibles de favoriser l'apprentissage. Par ailleurs, il intervient au cours des activités en tant que facilitateur et en tant que régulateur des interactions entre pairs. Pour viser un apprentissage collectif, certaines conditions sont à respecter lors du design des activités comme la mise en œuvre d'un apprentissage par l'action, la création d'une interdépendance entre apprenants et la mise en place d'activités qui doivent aboutir à une production commune (George, 2004).

1.2. Profils de comportements sociaux

Lorsque des élèves sont mis en situation d'apprentissage collectif au sein de groupes de taille restreinte, une organisation se met en place de manière spontanée. Les partenaires se positionnent les uns par rapport aux autres de sorte que chacun trouve sa place (Pléty, 1998). L'observation de ces comportements sociaux par l'enseignant lui fournit des indicateurs pour comprendre, réagir et intervenir de manière à réguler la collaboration au sein du groupe (George, 2004). L'analyse des échanges au sein d'un groupe permet de déterminer des profils de comportements caractéristiques chez les partenaires. Ainsi sur la base d'une combinaison d'observations de différentes natures, Pléty (1998) fait ressortir des profils de comportements sociaux qui fondent des dynamiques d'appartenance, de cohésion et de leadership. Fournir aux partenaires d'un apprentissage collectif des informations sur leurs propres profils permet de leur faire

prendre conscience de la dynamique comportementale du groupe ce qui est de nature à leur permettre d'autoréguler leur processus de travail en commun (George, 2004 ; Jermann, 2004 ; Temperman, 2013).

1.3. Robotique pédagogique

Ces dernières années, la robotique pédagogique dont Papert a été l'initiateur au début des années quatre-vingts (Papert, 1981) s'est tournée vers un public de plus en plus jeune, grâce notamment à la conception de nouveaux outils qui comportent un aspect ludique. C'est le cas des jouets programmables qui mémorisent une suite de commandes qu'ils exécutent ensuite de manière séquentielle. Les interfaces tangibles de ces jouets favorisent un usage précoce des concepts propres à la robotique chez les enfants les plus jeunes (Komis et Misirli, 2013). Ces jouets constituent des dispositifs technologiques tangibles que les enfants peuvent directement manipuler et qui peuvent stimuler la résolution de problèmes (Greff, 2001 ; Pekárová, 2008). Ce sont de véritables outils de médiation, qui permettent aux enfants de s'y identifier par un effet miroir (Depover *et al.*, 2007).

La robotique pédagogique est en adéquation avec le modèle constructiviste de l'apprentissage. Elle constitue un outil qui offre la possibilité de développer des compétences cognitives de haut niveau (Depover *et al.*, 2007). Elle permet également à l'enfant d'explorer l'espace par l'intermédiaire de la technologie ou de simuler une expérimentation (Leroux *et al.*, 2005). Pour Papert (1981) et Greff (1998), dès le plus jeune âge, l'enfant doit être initié à la pensée algorithmique. Le fait de concevoir un algorithme, de développer un programme et de le tester lui permet d'entrer en contact avec l'ordinateur. L'apprenant communique avec la machine dans un langage intelligible. Dans ce paradigme, les enfants sont les « bâtisseurs de leur savoir », de leurs propres structures intellectuelles et ils sont épistémologues c'est-à-dire qu'ils ont la capacité d'effectuer une étude critique de leur propre réflexion. Ainsi, la programmation d'un robot oblige l'apprenant à réfléchir à ses propres actions. Il doit se mettre à la place du robot. Il doit réfléchir à sa propre manière de se déplacer afin de le programmer correctement (Blanchet, 1991). Dans cette perspective, le robot peut être utilisé à l'école comme un outil permettant d'agir de manière efficace sur le développement cognitif des enfants. Il constitue également « un objet technologique dont il ne faudrait pas négliger la portée pédagogique en tant qu'artefact d'appropriation de connaissances techniques » (Komis et Misirli, 2012, p. 2).

2. Apprentissage collectif avec jouet programmable

2.1. Le robot de sol *Bee-Bot*

Le *Bee-Bot*, illustré à la figure 1, est un robot de sol (ou robot de plancher) programmable en forme d'abeille qui convient pour les enfants dès la maternelle jusque dans les premières années de l'école primaire (Beraza *et al.*, 2010 ; De Michele *et al.*, 2008 ; Komis et Misirli, 2012). Le contrôle des actions se réalise à partir d'une interface tangible qui se situe sur le dos du jouet. Cette interface est constituée de sept boutons qui permettent à l'utilisateur de programmer directement une succession d'instructions simples que le jouet va exécuter de manière séquentielle. Une rétroaction sonore est déclenchée à chaque fois qu'une commande est enregistrée par pression d'un de ces boutons. La mémoire de ce jouet programmable accepte jusqu'à quarante instructions consécutives.



Figure 1 • *Bee-Bot* avec son interface de manipulation

Quatre boutons de couleur orange représentent des flèches. Deux d'entre eux ont pour fonction de gérer les déplacements avec les instructions « avance d'un pas » et « recule d'un pas », le *Bee-Bot* étant capable de se déplacer sur une surface plane à intervalle constant de 15 cm qui correspond à sa longueur. Les deux autres boutons orange permettent de gérer les rotations avec les instructions « tourne à gauche » et « tourne à droite », le robot pouvant effectuer une rotation sur place de 90°.

Un bouton central de couleur verte sur lequel est inscrit « GO » permet de demander au robot de sol d'exécuter la série des instructions qui ont été automatiquement enregistrées après chaque pression d'un bouton orange. Une fois le parcours entamé, le *Bee-Bot* marque une courte pause entre chaque opération. A la fin du parcours, ses yeux clignotent et un son est émis pour informer l'utilisateur du fait que la séquence d'instructions est terminée. Le bouton « GO » permet également d'arrêter la progression du jouet avant que la séquence d'instructions ne soit finie.

Deux autres boutons sont de couleur bleue : l'un lance l'instruction « nettoie » qui sert à effacer toutes les instructions qui ont été enregistrées au préalable ; l'autre correspond à l'instruction « pause » qui offre la possibilité de marquer un temps d'arrêt en interrompant de manière momentanée l'exécution des commandes.

Plusieurs accessoires sont disponibles pour diverses activités, notamment des tapis de sol représentant une ville, une île au trésor (cf. la figure 4) ou une ferme ainsi que des tapis conçus pour l'apprentissage des lettres et des chiffres.

2.2. Programmation collaborative

La réflexion critique que nécessite l'apprentissage de la programmation d'un robot de sol par de jeunes enfants peut être activée dans le cadre d'activités collaboratives centrées sur la confrontation de solutions alternatives entre pairs (Denis et Baron, 1993), (Leroux *et al.*, 2005). L'apprentissage collectif est en effet particulièrement adapté à des problèmes qui exigent de nouvelles approches conceptuelles (Baudrit, 2007). Dans ce cadre, les apprenants se trouvent confrontés à des situations pour lesquelles ils ne sont pas en mesure de mobiliser une solution immédiate car leurs connaissances individuelles sont insuffisantes. Essayer, échanger, communiquer leurs propositions va les pousser à « avoir une conscience plus aiguë d'idées qui, à l'origine, relèvent seulement de l'intuition » (Baudrit, 2007, p. 68).

La collaboration entre élèves peut être un moyen approprié pour faciliter l'acquisition de certaines techniques de contrôle de la pensée (Gurtner *et al.*, 1991 ; Palincsar et Brown, 1984 ; Perret-Clermont, 2000). Selon la thèse vygotkienne, ces aptitudes sont d'abord apprises en interaction avec d'autres sujets avant de pouvoir les appliquer seul (Baudrit, 2007). Ces auteurs mettent en avant le fait que la mise en œuvre et l'apprentissage de techniques de contrôle de la pensée seront plus faciles à opérer dans un premier temps sur un raisonnement conduit par un pair que sur son propre raisonnement. Dans ce dernier cas, il sera nécessaire de mener de front production et contrôle (Ducarme, 2014).

La collaboration a été peu étudiée au sein de la population à laquelle sont dédiés les jouets programmables du même type que le *Bee-Bot*. Pourtant certaines études (Gauvain et Rogoff, 1989) montrent que dès cinq ans, les enfants sont en mesure de collaborer efficacement à la recherche de solutions communes à une situation problème qui leur est

**Albert STREBELLE, Lionel MÉLOT,
Amandine DUCARME, Christian DEPOVER**

soumise. C'est dans cette perspective que la recherche que nous nous proposons de décrire ci-après a été conçue. Elle vise à apporter des éléments de réponse à une question principale formulée comme suit : « Quelles interactions sociales sont mises en œuvre par des enfants de 5 à 6 ans pour réaliser en petits groupes de 3 à 4 sujets des activités de programmation collaborative du robot de sol *Bee-Bot* ? ». La recherche vise encore à répondre à la question complémentaire suivante : « La taille de l'équipe (3 ou 4 élèves) influence-t-elle la quantité et la qualité des interactions au cours d'activités de programmation collaborative du robot de sol *Bee-Bot* ? ».

3. Méthodologie de la recherche

3.1. Contexte de la recherche et échantillonnage

La recherche a été menée entre juin 2013 et avril 2014 en Belgique francophone au sein d'une école fondamentale fréquentée majoritairement par des enfants issus d'un milieu socio-économique relativement défavorisé.

Un échantillon de vingt et un élèves âgés de 5 à 6 ans a été constitué au début de la recherche. Ces enfants ont été extraits de deux classes au sein desquelles aucune activité avec un jouet programmable n'avait été organisée au préalable : la première classe comportait seize élèves et la seconde, quatorze. Suite au refus de leurs parents, neuf de ces trente enfants n'ont pas participé à la recherche.

Pour la réalisation des activités avec le jouet programmable, les élèves de l'échantillon ont été répartis en six groupes : trois équipes de trois sujets et trois équipes de quatre sujets. Ces six équipes ont été constituées au sein des deux classes en concertation avec les enseignants en associant des enfants de niveaux scolaires différents.

L'entièreté des activités a été filmée de manière à garder la trace des interactions au sein de chaque équipe. Les activités terminées, une analyse des comportements a été effectuée a posteriori. Au terme de la recherche, chacun des élèves de l'échantillon a été individuellement interrogé sur sa motivation générale par rapport à l'école et sur la manière dont il avait vécu les activités de groupe avec le robot de sol.

3.2. Scénario pédagogique

Le scénario pédagogique qui a été conçu dans le cadre de la recherche (Ducarme, 2014) s'appuie sur une séquence d'activités qui est structurée en

quatre séances qui se déroulent sur un total de soixante-dix à cent minutes : une première séance de découverte et de familiarisation avec le jouet, une deuxième séance de déplacements pas-à-pas et deux séances de programmation d'un parcours. Chacune des équipes a réalisé ces séances séparément sous le contrôle d'une expérimentatrice qui joue un rôle de facilitatrice et de co-investigatrice (Komis et Misirli, 2012).

3.2.1. Séance 1 : Découverte du *Bee-Bot* (10 à 15 minutes)

La première séance est introductive. Elle se décline en deux phases. Dans un premier temps, un jouet *Bee-Bot* est présenté à l'équipe. L'expérimentatrice demande aux enfants de l'observer et de le décrire à tour de rôle. Dans un second temps, chaque enfant reçoit un robot qu'il peut manipuler à sa guise. Après quelques minutes, l'expérimentatrice organise une mise en commun orale des découvertes, centrée sur la fonction de chacun des sept boutons disposés sur le dos du jouet.

3.2.2. Séance 2 : Déplacements sur la représentation d'une route (20 à 30 minutes)

La deuxième séance se décline en trois phases successives. Dans un premier temps, la représentation d'un tronçon de route rectiligne est disposée au centre d'une table (figure 2). Un *Bee-Bot* est placé à une extrémité de la route et un bonbon à l'autre. Une remorque est attachée à l'arrière du jouet.

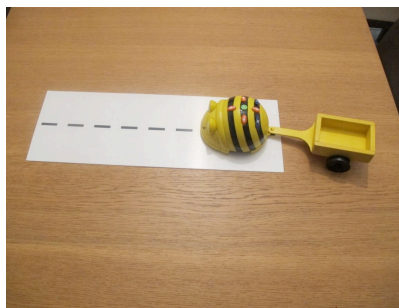


Figure 2 • Parcours rectiligne du *Bee-Bot* avec remorque

La consigne est de programmer le robot de sol en équipe pour qu'il se rende pas à pas au bout de la route. Lorsque le bonbon est atteint, un enfant peut déposer le bonbon dans la remorque. L'équipe doit alors programmer le robot pour qu'il effectue le parcours en sens inverse afin de retourner au point de départ au début de la route.

**Albert STREBELLE, Lionel MÉLOT,
Amandine DUCARME, Christian DEPOVER**

Dans un deuxième temps, un nouveau bonbon est placé au bout d'un deuxième tronçon de route qui est disposé dans le prolongement du premier, ce qui allonge le parcours que doit réaliser le *Bee-Bot*. La consigne est de programmer le robot de sol en équipe pour qu'il rejoigne le plus rapidement possible l'endroit où est placé le bonbon. Des pauses en cours de route sont autorisées.

Dans un troisième et dernier temps, un autre bonbon est placé au bout du deuxième tronçon de route qui est cette fois disposé à angle droit par rapport au premier (figure 3). Cette étape permet aux enfants d'acquérir la notion de rotation. La même consigne est répétée.

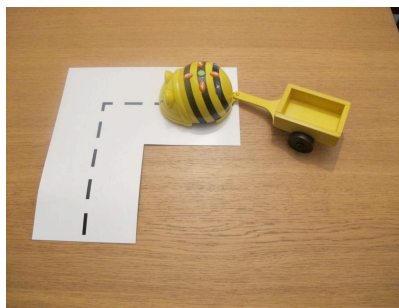


Figure 3 • Parcours du *Bee-Bot* avec rotation à gauche

3.2.3. Séance 3 : Recherche d'un trésor sans étape (20 à 30 minutes)

Le tapis de sol « L'île au trésor », quadrillé en seize cases (figure 4) est disposé sur une table. Un trésor est figuré sur une des cases de cette carte figurative. L'expérimentatrice place le *Bee-Bot* sur une autre case située en diagonale par rapport à la case du trésor.



Figure 4 • Tapis de sol quadrillé « L'île au trésor »

La consigne est de programmer le jouet en équipe pour qu'il se rende, sans interruption, à la case au trésor. Un seul changement de direction peut être effectué durant l'itinéraire. Avant de commencer à manipuler le robot, quelques minutes sont consacrées à nommer les différents endroits particuliers représentés sur la carte de l'île au trésor.

3.2.4. Séance 4 : Recherche d'un trésor avec étape (20 à 30 minutes)

Le tapis de sol « L'île au trésor » (figure 4) est à nouveau disposé sur une table. Cette fois, il est accompagné d'une série de cartes à jouer. Ces cartes, en papier plastifié de douze centimètres sur quinze, reproduisent à l'identique chacune des seize cases de la carte de l'île. Quelques minutes sont consacrées à l'explicitation du rôle des cartes à jouer.

Trois des cartes sont tirées au sort : une première désigne la case de départ (A) ; une deuxième désigne un endroit de passage obligé (case B) et une troisième représente la destination à atteindre (case C). Un élève doit poser le *Bee-Bot* sur la case désignée par la première carte. Les membres de l'équipe reçoivent la consigne de se mettre d'accord sur la succession de boutons à pousser pour programmer le robot de manière à ce qu'il effectue un parcours qui passe obligatoirement par la case B avant de se diriger vers la case au trésor (C).

3.3. Méthodologie d'analyse du comportement des partenaires d'un apprentissage collectif

3.3.1. Analyse unifiée des actions posées et des messages échangés

Pour effectuer l'analyse de la collaboration entre les partenaires de l'activité de programmation du robot de sol, nous avons adopté une méthodologie (Strebelle et Depover, 2013) qui se centre à la fois sur l'analyse des dialogues entre les acteurs de la collaboration et sur les objets de l'environnement exploités par les apprenants dans le cadre des tâches qui leur sont proposées. Cette méthode réside dans une *analyse unifiée* (« *unified analysis* ») des actions effectuées par les partenaires de l'activité et des messages échangés par ces derniers au cours de leurs interactions (Avouris *et al.*, 2003). Le formalisme mis en œuvre se fonde donc sur deux considérations de base : d'une part, une perspective « *orientée objet* » des rôles tenus par les partenaires impliqués dans une activité et, d'autre part, une analyse concomitante des dialogues et des actions sur les objets.

Le but de cette méthode d'analyse consiste à identifier des *séquences fonctionnelles* directement reliées aux objets utilisés par les partenaires d'une *production co-élaborative* élaborée dans le cadre d'une activité de résolution de problème. Dans le cadre du dispositif décrit ici, nous appelons « *séquence fonctionnelle* » une suite d'interventions (actions et/ou actes de paroles d'un ou plusieurs partenaires) qui ont trait à la conception, à la réalisation et à l'évaluation d'une série d'instructions sur le *Bee-Bot*. Une séquence fonctionnelle est dite *symétrique* lorsque dans la suite d'interventions, au moins deux d'entre elles sont complémentaires, autrement dit, lorsqu'au moins une intervention d'un des membres de l'équipe est directement liée à une intervention d'un de ses partenaires. L'identification des séquences fonctionnelles que nous présentons ici de manière succincte s'effectue en deux temps : un codage de niveau 1 suivi d'un codage de niveau 2.

3.3.2. Codage de niveau 1 : classification des actions et des actes de parole

Les opérations effectuées par les partenaires d'une équipe pour réaliser une activité sont définies comme des interventions qui sont soit des modifications significatives apportées au *Bee-Bot* comme sa manipulation ou la pression sur un bouton, que nous appellerons « *actions* » dans la suite de ce texte, soit des paroles émises par les partenaires de l'activité. Cette dimension est appréhendée selon deux systèmes de classification spécifiques condensés dans une grille de codage des interventions.

Le premier système de classification concerne les actions effectuées dans le cadre des activités. Elles y sont classées en dix catégories dites secondaires regroupées en trois classes principales ou catégories primitives (Ducarme, 2014) :

- les actions en lien direct avec la programmation du robot de sol sont associées au code AP ; par exemple le fait d'actionner les boutons de programmation du *Bee-Bot* est codé APab ;
- les autres actions en rapport avec l'activité reçoivent le code AA ; par exemple le fait de montrer avec le doigt le déplacement que le robot va devoir effectuer sur la carte au trésor est codé AAmD ;
- les actions hors propos sont notées AH ; par exemple, le fait de déplacer un autre objet que ceux qui participent à l'activité, comme une chaise, est codé AHau.

Le second système de classification concerne les messages échangés entre les élèves. Ces messages sont décryptés suivant les principes d'une

analyse de contenu du type de l'analyse conversationnelle. A l'instar de plusieurs chercheurs (Nastri *et al.*, 2006 ; Paulus, 2005 ; Quintin, 2008 ; Strebelle et Depover, 2013 ; Weinberger et Fisher, 2006), nous adoptons l'*acte de parole* comme unité d'analyse : « Un acte de parole est un acte de communication qui consiste en la mise en relation d'un projet d'action communicationnelle et d'une énonciation langagière qui sert de support à une visée intentionnelle d'action... Un acte de parole, au-delà de sa fonction de dire ou vouloir dire quelque chose, constitue un acte social au moyen duquel les acteurs sociaux interagissent » (Bromberg et Chabrol, 1993, p. 296). Les actes de parole constituent pour les acteurs sociaux des moyens interactifs de maîtriser ou de résoudre des problèmes concrets ou symboliques. Dans notre corpus de données, l'acte de parole correspond le plus souvent au message dans sa globalité, mais quand le message analysé comporte plusieurs intentions de communication, le codeur est amené à le segmenter en différents actes de paroles et donc en plusieurs unités de codage. Dans ce dispositif, l'interprétation de chaque message et la décision éventuelle de le segmenter en plusieurs actes de parole tiennent compte des messages émis antérieurement et ultérieurement par les acteurs (élèves ou enseignant) ainsi que des actions menées en parallèle par ces derniers.

Concrètement, il s'agit de caractériser chaque unité de codage, chaque acte de parole donc, en le classant dans un premier temps au sein d'une catégorie déterminée parmi sept catégories principales ou primitives et en la classant dans un deuxième temps au sein d'une catégorie secondaire. Au premier niveau, les actes de parole sont catégorisés en informatifs, actionnels, évaluatifs, communicationnels, interactionnels, socio-affectifs ou hors propos. Chacune de ces catégories principales est définie ci-après.

- Nous appelons *acte de parole informatif* tout message ou partie de message qui vise à décrire, caractériser, rendre compte, de manière non évaluative, des éléments de la situation et de leurs relations ou à solliciter des informations relatives à la situation. Les actes de parole informatifs sont associés au code PF. La classe des actes de parole informatifs comporte 10 catégories secondaires.
- Un *acte de parole actionnel* est un message, ou une partie de message, relatif à une action qui est à effectuer, qui est en cours d'accomplissement ou qui a été effectuée. Ce type d'acte de parole reçoit le code PA. Selon la terminologie de Chabrol et Bromberg (1993, p. 305), il a trait « au faire, au faire faire, au devoir faire, au pouvoir faire ou au vouloir faire ». Concrètement, un acte de parole actionnel vise,

dans le cadre de la situation, à proposer d'effectuer une action, à inciter à effectuer une action, à s'engager à effectuer une action, à refuser d'effectuer une action, à déclarer effectuer ou avoir effectué une action, à déclarer observer les résultats d'une action ou encore à demander des éléments d'information à propos d'une action ou à solliciter une information relative à une action. La classe des actes de parole actionnels comporte six catégories secondaires.

- Nous appelons *acte de parole évaluatif* et codons PE tout message ou partie de message qui vise à exprimer ou à solliciter un jugement ou une appréciation sur les éléments de la situation, sur les résultats des actions accomplies par les partenaires dans le cadre de la situation ou encore sur les modalités et l'efficacité de la collaboration au sein de l'équipe. L'évaluation peut être positive, un marqueur « p » est alors associé au code, ou négative, un marqueur « n » est alors associé au code. La classe des actes de parole évaluatifs comporte huit catégories secondaires.
- Nous appelons *acte de parole interactionnel* et codons PI, tout message ou partie de message qui vise à la co-élaboration des identités des partenaires et à la co-gestion de leurs relations, selon la situation ou les enjeux, pour les améliorer ou les remettre en cause. La classe des actes de parole interactionnels comporte quinze catégories secondaires.
- Nous appelons *acte de parole communicationnel* et codons PC, tout message ou partie de message qui a pour visée la gestion ou la régulation de la communication en fonction des buts et des enjeux d'action et en fonction d'un contrat de communication éventuellement implicite. La classe des actes de parole communicationnels comporte huit catégories secondaires.
- Nous appelons *acte de parole socio-affectif* et codons PSA tout message ou partie de message qui traduit ou sollicite un affect positif ou négatif en rapport avec la situation. Les actes de parole socio-affectifs sont classés en une des trois catégories secondaires.
- Nous classons dans la catégorie « actes de parole hors propos » et codons PH, les actes de parole n'ayant pas directement trait à la situation comme faire allusion à un événement survenu dans un autre cadre, parler d'un tiers sans que cela ait un rapport direct avec la situation ou encore demander pour aller aux toilettes. Nous ne distinguons pas de catégorie secondaire pour ce type d'acte de parole.

La vérification de la fidélité du classement des actes de parole a fait intervenir trois codeurs à l'occasion de sessions de codage successives

entre lesquelles un accompagnement a été mis en place en vue de clarifier certains principes et certaines catégories de codage. Comme le montrent les tableaux 1 et 2, une amélioration substantielle a pu être obtenue à travers cet effort de clarification jusqu'à observer une valeur de concordance de 0.820 qui, selon les critères les plus souvent utilisés, peut être considérée comme très bonne.

Tableau 1 • Coefficients de Kappa à trois sessions de tests impliquant les codeurs A et B (catégories principales)

Session	K de Kappa	Taux de signification (p.)	Accord
Test 1	0.64	0,00	$0.61 < K < 0,68$
Test 2	0.67	0,00	$0.61 < K < 0,68$
Test 3	0.68	0,00	$0.68 < K < 0,80$

Tableau 2 • Coefficient de Kappa à deux sessions de tests impliquant les codeurs A et C (catégories principales)

Session	K de Kappa	Taux de signification (p.)	Accord
Test 1	0.63	0,00	$0.61 < K < 0,68$
Test 2	0.82	0,00	$K \geq 0,80$

En complément des tests de Kappa sur les catégories principales, nous avons éprouvé la concordance des classements pour les catégories secondaires pour les codeurs A et C. Les résultats obtenus sont comparables à ceux correspondant aux catégories principales pour la première session de test (tableau 3).

Tableau 3 • Coefficient de Kappa à une session de tests impliquant les codeurs A et C (catégories secondaires)

Session	K de Kappa	Taux de signification (p.)	Accord
Test 1	0.65	0,00	$0.61 < K < 0,68$

3.3.3. Codage de niveau 2 : écriture synthétique des séquences fonctionnelles

Le second niveau de codage permet d'analyser de quelle manière se succèdent et s'imbriquent les différentes interventions effectuées par les partenaires d'une production co-élaborative commune. Il consiste à regrouper en séquences fonctionnelles les interventions relatives à une même tâche de programmation du robot de sol et à les écrire sous la

forme synthétique d'une formule (tableau 4). Cette écriture synthétique des interventions au sein des équipes permet aux chercheurs de repérer des séquences symétriques ainsi que des patterns d'interactions relatifs à des modes de fonctionnement collaboratif des partenaires au sein des équipes.

Chaque sujet de l'échantillon est désigné par un code allant de S_1 à S_{21} (cf. le tableau 7 pour la répartition des sujets par équipe). L'enseignant est désigné par le code E_{NS} . Le code de l'action ou de l'acte de parole que le sujet réalise suit le code de l'émetteur. Pour en faciliter la distinction entre actes de parole et actions, les codes de ces dernières sont notés en caractères gras dans la formule. Par exemple, le code **$S_{10}APab$** présent dans le premier extrait du tableau 4 traduit « le sujet 10 réalise une action en rapport avec la programmation du robot (AP) qui consiste à actionner (a) les boutons du *Bee-Bot* (b) ». Quand le récepteur d'un acte de parole est clairement identifié, son code est noté entre parenthèses après le code de l'émetteur. Par exemple, $E_{NS}(S_{14})PIso$ traduit « l'enseignant émet un acte de parole en lien avec les interactions (PI) en sollicitant le sujet 14 ».

Tableau 4 • Extraits de formules de codage des séquences fonctionnelles symétriques observées dans le cadre d'activités de programmation collaborative avec le Bee-Bot

Extrait de formules de séquences fonctionnelles symétriques	Interprétation
$E_{NS}(S_{10})PApm, S_{10}APab$	L'enseignant pose un acte de parole actionnel qui consiste à proposer au sujet 10 de manipuler le <i>Bee-Bot</i> , le sujet 10 effectue une action en lien avec la programmation qui consiste à actionner les boutons du <i>Bee-Bot</i> .
$E_{NS}(E2)PIso, S_6(E_{NS})PIrd,$ $E_{NS}(E2)PIso, S_7(E_{NS})PIrd$	L'enseignant pose un acte de parole interactionnel qui consiste à solliciter l'équipe 2, le sujet 6 pose un acte de parole interactionnel qui consiste à répondre à l'enseignant, l'enseignant sollicite à nouveau l'équipe 2 sur le plan interactionnel, le sujet 7 lui répond.
$E_{NS}(E4)PIso, S_{15}(E_{NS})PIrd, S_{15}APab$	L'enseignant sollicite l'équipe 4 sur le plan interactionnel, le sujet 15 lui répond tout en actionnant les boutons du <i>Bee-Bot</i> .

Les caractères soulignés signifient que les interventions (actions ou actes de paroles) sont réalisées simultanément. Par exemple, $S_{13}APab$ $S_{14}APab$ traduit « les sujets 13 et 14 actionnent les boutons du *Bee-Bot* en même temps » ou $S_{15}PIrd$ $S_{15}AAm$, « le sujet 15 répond à la question posée

en réalisant un autre type d'action (AA) qui n'a pas directement trait à la programmation et qui consiste à montrer (m) les boutons du *Bee-Bot* ».

4. Analyse des résultats

4.1. Analyse inter-équipes

Les six équipes de notre échantillon ont été en mesure d'effectuer avec succès et dans le temps imparti l'ensemble des activités prévues au sein de chacune des trois séances du scénario pédagogique qui prévoient la programmation d'un parcours du *Bee-Bot*. Les données du tableau 5 permettent de comparer les chiffres des réussites et des échecs des parcours programmés par les différentes équipes. Globalement, sur l'ensemble des séances qui comportent des consignes explicites de programmation (les séances 2 à 4), on observe un peu plus du double d'échecs (215) que de réussites (104). Par ailleurs, le taux de réussite progresse de séance en séance et tout particulièrement au sein de l'équipe E5. Nous pouvons en conclure que le dispositif mis en place permet de développer les compétences de programmation du robot de sol quelles que soit la dynamique collective propre à chaque équipe.

Tableau 5 • Parcours du *Bee-Bot* programmés par séance du scénario pédagogique

	Séance 2		Séance 3		Séance 4		Séances 2 à 4	
Équipe	Réussite	Echec	Réussite	Echec	Réussite	Echec	Réussite	Echec
E1	8	13	4	14	4	6	16	33
E2	5	15	12	11	5	9	22	35
E3	6	15	11	8	4	9	21	32
E4	8	13	3	20	5	12	16	45
E5	5	12	1	11	7	7	13	30
E6	7	15	4	14	5	11	16	40
Total	39	83	35	78	30	54	104	215

Il convient quand même de remarquer que les résultats à la séance 3 sont fort contrastés avec un taux de réussite très faible au sein des équipes E1, E4, E5 et E6 alors que ce taux de réussite est particulièrement élevé au sein des équipes E2 et E3 (cf. les données surlignées dans le tableau 5).

**Albert STREBELLE, Lionel MÉLOT,
Amandine DUCARME, Christian DEPOVER**

Par ailleurs, les données du tableau 6 permettent de comparer le fonctionnement des équipes, notamment celles qui sont constituées de quatre élèves (soient les équipes E1, E2 et E3) avec celles qui n'en comptent que trois (soient les équipes E4 ; E5 et E6). En comparant globalement les chiffres des interventions centrées sur la tâche (cf. le tableau 6 dans lequel nous n'avons pas tenu compte des actes de parole hors propos), c'est-à-dire en cumulant les actions de programmation (AP) et les autres actions (AA) avec les actes de parole, on constate qu'ils varient peu : de 330 pour l'équipe E5 à 451 pour l'équipe E2. Les interventions sont en moyenne plus nombreuses dans les équipes de quatre que dans les équipes de trois, mais la moyenne des interventions par élève est de l'ordre de 15 % plus élevée au sein des équipes de trois qu'au sein des équipes de quatre.

Tableau 6 • Occurrences des interventions et des séquences fonctionnelles symétriques en fonction de la taille de l'équipe

Nombre d'élèves par équipe	4			3		
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Interventions (Actions + Actes de parole)	391	451	353	372	330	332
Moyenne des interventions par équipe		398			345	
Moyenne des interventions par élève		99			115	
Actions (A)	149	178	152	184	138	114
Moyenne des actions par équipe		160			145	
Moyenne des actions par élève		40			49	
Actes de parole (P)	242	273	201	188	192	218
Moyenne des actes de parole par équipe		239			199	
Moyenne des actes de parole par élève		60			66	
Séquences fonctionnelles symétriques (SFS)	17	22	12	24	15	16
Moyenne des SFS par équipe		17			18	

De manière transversale, le nombre brut d'actes de parole centrés sur la tâche qui ont été comptabilisés au sein d'une équipe est toujours plus grand que le nombre d'actions sur le robot de sol. Si cette différence est fort marquée au sein de cinq des six équipes qui constituent l'échantillon, elle est moindre au sein de l'équipe E4 qui a un comportement atypique puisqu'on y dénombre le plus d'actions sur le *Bee-Bot* (184) et le moins

d'actes de parole (188). La dynamique particulière de cette équipe E4 sera discutée à la section 4.3. Dans l'ensemble, à l'exception de l'équipe E4, les verbalisations ont donc pris une place déterminante dans la réalisation collaborative des activités.

Les moyennes par élève des actions (quarante pour les équipes constituées de quatre sujets contre quarante-neuf pour les équipes de trois) et des actes de parole (soixante pour les équipes constituées de quatre sujets contre soixante-six pour les équipes de trois) sont influencées par la taille de l'équipe puisqu'elles sont respectivement de près de 23 % et de 10 % plus élevées dans les équipes de trois individus que dans les équipes de quatre.

Le codage des données nous a permis de comptabiliser les séquences fonctionnelles symétriques (SFS) au sein des différentes équipes. Les résultats sont très variables puisque le nombre de ces SFS passe du simple au double avec un minimum de douze séquences SFS pour l'équipe E3 et un maximum de vingt-quatre pour l'équipe E4. Cependant, la moyenne des séquences SFS des équipes qui comportent trois membres (18 séquences) est similaire à celle des équipes de quatre sujets (17 séquences). Dans le cadre de notre étude, ces chiffres ne nous permettent pas de formuler une quelconque hypothèse quant à une éventuelle influence de la taille de l'équipe sur le nombre de séquences fonctionnelles symétriques observées par équipe.

Les séquences fonctionnelles symétriques ont été analysées de manière qualitative sur la base de la taxonomie de Verba (Verba, 1994). Les séquences observées se rapportent tantôt à de l'*observation-élaboration* lorsque le comportement d'un sujet provoque un comportement chez un autre sujet, tantôt à de la *co-construction* lorsque des partenaires au sein d'un groupe confrontent leurs idées pour élaborer un objectif commun et tantôt, à de l'*activité guidée* lorsqu'un sujet reçoit de l'aide d'un de ses pairs ou lui en propose.

À titre d'illustration, nous reproduisons ci-après la formule d'une séquence fonctionnelle symétrique qui résulte d'une analyse des traces des interactions, au cours d'une tâche de programmation entre trois des quatre partenaires de l'équipe E2 au cours de la séance 2, un des membres de cette équipe, le sujet S7, n'ayant pas participé à la séquence.

*S5PApq, S5APab, S8PAsu, S8AAmb, S5AAmb,
S6APab, S8APab, S8PAex, S5PEco+*

**Albert STREBELLE, Lionel MÉLOT,
Amandine DUCARME, Christian DEPOVER**

Cette séquence fonctionnelle symétrique se traduit de la manière suivante : le sujet 5 émet un acte de parole actionnel, qui consiste à poser une question à propos de la tâche à effectuer avant d'actionner les boutons du *Bee-Bot* ; le sujet 8 émet un acte de parole actionnel, qui consiste à suggérer une action tout en désignant des boutons sur le robot que le sujet désigne également ; le sujet 6 et le sujet 8 prennent le relai en actionnant successivement les boutons du *Bee-Bot* ; le sujet 8 explicite ses actions ; le sujet 5 émet un acte de parole, en évaluant de façon positive le résultat du déplacement du robot consécutif à l'activation de la séquence qui a été programmée en commun.

4.2. Analyse inter-sujets : profils de comportements sociaux

L'analyse des interactions entre sujets au sein des équipes nous a conduits à définir cinq profils contrastés de comportements sociaux chez les élèves. La détermination de ces comportements se fonde sur une combinaison de quatre ensembles de données qui ont été collectées au terme des activités : le volume d'actions (A), le volume d'actes de parole (P), les types d'actes de parole (P) et la participation aux séquences fonctionnelles symétriques (SFS). Ce dernier critère traduit la mesure dans laquelle l'élève réagit aux interventions de ses partenaires, mais également la mesure dans laquelle ses partenaires réagissent à ses propres interventions. Les caractéristiques de ces cinq profils sont présentées dans le tableau 7.

La répartition de ces profils au sein de nos différentes équipes, résumée dans le tableau 8, est la suivante.

4.2.1. Les leaders

Quatre sujets de quatre équipes différentes (E2, E4, E5 et E6) se sont investis de manière quantitativement plus importante que leurs partenaires, et ce, de manière récurrente au cours des différentes activités. Ils ont exercé une forme de leadership bienveillant au sein de leur équipe tout en montrant une tendance à vouloir monopoliser le jouet. Ce sont généralement des élèves qui obtiennent des résultats scolaires au-dessus de la moyenne de leur classe. Au terme de la séquence d'activités, trois de ces quatre élèves qualifiés de leaders ont déclaré qu'ils auraient apprécié programmer seuls le robot plutôt qu'en équipe.

Tableau 7 • Profils comportementaux des élèves au cours d'activités de programmation collaborative du Bee-Bot en petits groupes

Profil	Actions (A)	Actes de parole (P)		Séquences fonctionnelles symétriques (SFS)
	Volume (A)	Volume (P)	Types (P)	Participation (SFS)
Leader	important	important	variés, principalement actionnels, évaluatifs (positifs comme négatifs) et informatifs	importante
Compétiteur	important	Assez important	principalement évaluatifs négatifs et interactionnels	Assez importante
Conciliant	Assez important	Assez important	principalement actionnels et évaluatifs positifs	Peu importante
Suiveur	Peu important	Peu important	(pas de type dominant)	Faible
Désinvesti	Faible	Faible	parfois hors propos	Faible à nulle

Tableau 8 • Répartition des profils par équipe

Equipe	Compétiteur	Conciliant	Leader	Suiveur	Désinvesti
E1	S2	S1		S4	S3
E2		S5, S8	S6		S7
E3	S9, S10, S11, S12				
E4			S15	S13, S14	
E5	S17		S16	S18	
E6			S21	S19, S20	

4.2.2. Les conciliants

Trois sujets de deux équipes différentes (E1 et E2) ont participé aux activités de façon active, mais légèrement en retrait par rapport aux autres membres de leur équipe respective. Ils ont rapidement compris le principe de la programmation, mais ils laissaient leurs partenaires faire des essais. Ils n'hésitaient pas à les aider, mais sans imposer leurs points de vue. Ces trois sujets ont de très bons résultats scolaires.

4.2.3. Les suiveurs

Six sujets de quatre équipes différentes (E1, E4, E5 et E6) ont éprouvé des difficultés à programmer le robot correctement. Ils se laissaient aider sans objection. Ils participaient peu aux discussions. Au terme de la séquence d'activités, cinq d'entre eux ont déclaré avoir apprécié travailler en équipe.

4.2.4. Les désinvestis

Deux sujets de deux équipes (E1 et E2) différentes ont relativement peu participé aux activités. A chaque séance, leur implication décroissait rapidement au cours du temps jusqu'à ce qu'ils finissent par se désinvestir complètement de l'activité. D'après leurs enseignantes respectives, ce comportement n'est pas propre aux activités avec le *Bee-Bot* puisqu'elles déclarent l'avoir également observé à plusieurs reprises au cours des activités de classe.

4.3. Dynamiques collaboratives au sein des équipes

D'une séance d'activités à l'autre, et donc au fur et à mesure que la difficulté grandissait, les élèves ont eu tendance à davantage collaborer à la recherche de solutions communes. Ainsi l'implication au sein des séquences fonctionnelles symétriques a évolué de manière positive chez dix-sept sujets de l'échantillon alors qu'elle n'a régressé que chez un seul (S7 qui a un profil de désinvesti) et est restée stable chez les trois derniers (S3, S9 et S18).

La combinaison des types de profils observés semble avoir eu une influence sur la collaboration au sein des équipes. Ainsi, par exemple, l'équipe E3 composée de quatre sujets exclusivement compétiteurs a fonctionné quasi continuellement sur le mode de la confrontation parfois conflictuelle avec une tension nerveuse palpable à chaque séance. C'est notamment en son sein qu'ont été observés le moins de séquences fonctionnelles symétriques (tableau 6) d'une part, et la quasi-totalité des évaluations négatives et des actes de parole interactionnels, notamment des moqueries, d'autre part. Cette dynamique peu encline à la collaboration n'a pas empêché l'équipe d'être efficace en termes de progression de ses résultats comme le montre le tableau 5.

Un autre exemple de combinaison particulière est celui de l'équipe E4 constituée d'un leader et de deux élèves que nous avons qualifiés de suiveurs. Un climat de travail serein et fructueux s'est instauré

naturellement dans cette équipe. C'est notamment en son sein que nous avons enregistré une des moindres proportions d'actes de parole hors propos. Pour rappel, ce sont les membres de cette équipe qui ont émis le moins d'actes de parole et qui ont effectué le plus d'actions. Ces élèves programmaient le robot à tour de rôle et n'hésitaient pas à demander l'avis de leurs partenaires, quand ils doutaient des instructions qu'ils étaient sur le point d'encoder, ou à demander de l'aide quand un programme s'avérait incorrect au cours d'un essai. Quand l'un d'entre eux avait la main, les autres ne tentaient pas de la lui prendre, mais commentaient ses actions et lui faisaient des suggestions constructives. Comme nous l'avons déjà noté, c'est l'équipe qui a produit le plus grand nombre de séquences fonctionnelles symétriques (tableau 6). L'occurrence de ces dernières s'est intensifiée de séance en séance.

Un élément à remarquer au sujet des combinaisons de profils qui sont apparues au sein de notre échantillon consiste dans le fait qu'un comportement de leader s'est systématiquement manifesté dans chacune des équipes constituées de trois élèves alors que ce rôle n'est apparu que dans une seule équipe de quatre membres, l'équipe E2. Des trois équipes comptant quatre élèves, c'est cette équipe E2 qui a produit le plus de séquences fonctionnelles symétriques (cf. le tableau 6) et qui a le plus progressé en termes d'interactions collaboratives au cours de la séquence d'activités. Par ailleurs, l'équipe E3 constituée uniquement de compétiteurs est celle qui a produit le moins de séquences fonctionnelles symétriques (cf. le tableau 6).

5. Conclusions et perspectives

Les sujets d'un échantillon de vingt et un enfants âgés de cinq à six ans ont, au sein d'équipes de trois ou quatre individus, effectué des activités d'exploration et de programmation avec le robot de sol *Bee-Bot* dans le cadre de la résolution de situations problèmes. Les résultats de notre étude rejoignent ceux de recherches antérieures (Komis et Misirli, 2012, 2013), en ce sens que l'application d'un scénario pédagogique en classes de fin de maternelle et début du primaire montre qu'une approche des concepts préliminaires de la programmation à l'aide de ce jouet programmable est possible avec de jeunes enfants. En effet, avec l'aide didactique de l'expérimentatrice, les six équipes de notre échantillon ont réussi à mener à leur terme les activités du scénario dans le timing prévu. Malgré la difficulté croissante des tâches proposées dans le scénario pédagogique, seuls deux

élèves se sont peu à peu désintéressés des activités alors que tous les autres sont restés actifs, interactifs et productifs tout au long de l'expérience.

Au terme d'une séquence de quatre séances d'activités, tous les enfants ont déclaré avoir aimé travailler avec le *Bee-Bot*. Aucun d'entre eux n'a exprimé un sentiment de découragement, même ceux qui ont rencontré des difficultés lors de la programmation du robot et qui se sont progressivement désinvestis. Tous déclarent avoir apprécié chercher des solutions avec leurs partenaires même si une proportion importante d'entre eux déclare qu'ils auraient préféré programmer le jouet seuls plutôt qu'en équipe.

Peu de comportements de collaboration spontanés ont pu être observés. Toutefois, après que l'expérimentatrice ait systématiquement amené les sujets de l'échantillon à comparer leurs propres stratégies et procédures avec celles de leurs partenaires au sein des équipes, des comportements collaboratifs explicites et plus rarement implicites (Strebelle et Depover, 2013) sont apparus comme de l'*observation-élaboration*, de la *co-construction* et de l'*activité guidée* (Verba, 1994). A ce propos, l'effet de l'intervention de l'adulte enseignant ou expérimentateur au sein des groupes mériterait d'être discuté dans le cadre d'un prolongement de cette étude.

De manière générale, les échanges verbaux ont été nombreux à l'occasion de discussions animées. Les élèves ont passé un temps relativement long à donner leur avis avant de programmer le jouet ainsi qu'à expliciter leurs démarches après l'avoir fait.

Comme nous l'avons souligné, les enfants de l'échantillon n'ont pas collaboré facilement. Un sentiment de compétition relativement marqué a été observé au sein de la plupart des équipes et tout particulièrement chez les équipes comportant un compétiteur en leur sein ; ce sentiment peut être rapproché de ce que Piaget décrit comme relevant de la pensée égocentrique (Baudrit, 2007). C'est avec une certaine difficulté que la plupart des élèves de notre échantillon sont parvenus à dépasser cet égocentrisme. Beaucoup ont eu tendance à vouloir monopoliser le robot de sol tout au moins dans un premier temps. Ainsi, dans le cadre des premières activités plus faciles à réaliser, la majorité des enfants refusaient l'aide proposée par les autres membres de leur équipe. Les élèves acceptaient plus facilement de l'aide de leurs partenaires ou la demandaient davantage au fur et à mesure que la difficulté de la tâche augmentait, principalement au cours des deux dernières séances. Systéma-

tiquement, les élèves qui commençaient à manipuler le robot essayaient d'abord de le programmer seuls. Ce n'est qu'après plusieurs échecs qu'ils acceptaient l'aide de leurs partenaires et, pour certains, la sollicitaient. La demande d'aide, et par corollaire de comportements collaboratifs, a donc émergé de manière davantage spontanée lorsque des difficultés plus importantes survenaient.

La méthode d'analyse des comportements sociaux que nous avons mise en œuvre nous a permis de déterminer cinq types de profils : les comportements de compétiteurs, de leaders, de conciliants, de suiveurs et de désinvestis. Certains de ces profils peuvent être comparés à ceux qui ont été proposés par Pléty (1998) par exemple les leaders ont des caractéristiques communes avec les animateurs, ou les conciliants avec les indépendants. D'autres sont plus spécifiques aux comportements de la classe d'âge des apprenants que nous avons observés. Dans la foulée, nous avons été en mesure de mettre en évidence des dynamiques collectives en fonction de la combinaison des profils. Ainsi, dans le cadre de notre recherche, la taille de l'équipe semble avoir influencé la collaboration en quantité, mais pas en qualité. Globalement, les sujets se sont davantage investis personnellement dans les groupes de trois individus que dans les groupes de quatre. Le fait qu'un rôle de leader ait systématiquement été assumé au sein des équipes de trois, mais pas dans celles de quatre a pu avoir eu une influence positive sur la dynamique interactive au sein de ces équipes. Ces interprétations nous conduisent à émettre l'hypothèse que le climat instauré entre les jeunes partenaires, notamment par la confrontation de profils, influence la dynamique de programmation collaborative au sein de l'équipe. La vérification de cette hypothèse offre des perspectives de recherches ultérieures tout particulièrement au sein de triades. Il serait notamment intéressant d'analyser dans quelle mesure des coalitions de deux individus (Caplow, 1984 ; Cartron et Winnykamen, 2004) pourraient avoir tendance à se former en leur sein.

BIBLIOGRAPHIE

AVOURIS, N., DIMITRACOPOULOU, A. et KOMIS, V. (2003). An Analysis of Collaborative Problem Solving: An Object Oriented Approach. *Computers in Human Behavior*, 19(2), 147-167.

BAUDRIT, A. (2007). *L'apprentissage collaboratif*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.

**Albert STREBELLE, Lionel MÉLOT,
Amandine DUCARME, Christian DEPOVER**

BERAZA, I., PINA, A. et DEMO, B. (2010). Soft & Hard Ideas to Improve Interaction with Robots for Kids & Teachers. Dans *Proceedings of the International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots (SIMPAR 2010)* (p. 549-557).

BLANCHET, A. (1991). Pour un développement des objectifs métacognitifs de LOGO. Dans J., Gurtner et J. Retschitzki (dir.), *LOGO et apprentissages* (p. 61-78). Paris, France : Delachaux et Niestlé.

BROMBERG, M. et CHABROL, C. (1993). *Essai d'une nouvelle taxonomie des actes de parole pour l'analyse des interactions sociales*. Paris, France : Ronéo.

CAPLOW, T. (1984). *Deux contre un. Les coalitions dans les triades*. Paris, France : ESF.

CARTRON, A. et WINNYKAMEN, F. (2004). *Les relations sociales chez l'enfant. Genèse, développement, fonctions*. Paris, France : Armand Colin.

DE MICHELE, S., DEMO, B. et SIEGA, S. (2008). A Piedmont SchoolNet for a K-12 Mini-Robots Programming Project: Experiences in Primary Schools. Dans *Workshop Proceedings of the 1st International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots (SIMPAR 2008)* (p. 90-99).

DENIS, B. et BARON, G-L. (1993). Regards sur la robotique pédagogique. Dans *Proceedings of the 4th International Conference on Educational Robotics*. Paris, France : INRP.

DEPOVER, C., KARSENTI, T. et KOMIS, V. (2007). *Enseigner avec les technologies : favoriser les apprentissages, développer des compétences*. Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.

DOISE, W. et MUGNY, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris, France : InterEditions.

DOISE, W. et MUGNY, G. (1997). *Psychologie sociale et développement cognitif*. Paris, France : Armand Colin.

DUCHARME, A. (2014). *Analyse de la collaboration chez de jeunes enfants lors de l'utilisation d'un jouet programmable de type LOGO : le Bee-Bot* (mémoire 2^e cycle, Université de Mons, Belgique).

GAUVAIN, M. et ROGOFF, B. (1989). Collaborative Problem-Solving and Children's Planning Skills. *Developmental Psychology*, 25, 135-171.

GEORGE, S. (2004). Analyse automatique de conversations textuelles synchrones d'apprenants pour la détermination de comportements sociaux. *STICEF*, 10, 165-193.

GREFF, E. (1998). Le « jeu de l'enfant-robot » : une démarche et une réflexion en vue du développement de la pensée algorithmique chez les très jeunes enfants. *Sciences et Techniques éducatives*, 5(1), 47-61.

GREFF, E. (2001). Résolution de problèmes autour du robot de plancher. Dans *Actes du 28^e Colloque Inter-IREM des formateurs et professeurs de mathématiques chargés de la formation des maîtres* (p. 49-59). Orléans, France : IREM d'Orléans-Tours.

GURTNER, J., RETSCHITZKI, J. et LEON, C. (1991). Du jaillissement à l'épanouissement de l'esprit. Dans J. Gurtner et J. Retschitzki (dir.), *LOGO et apprentissages* (p. 253-266). Paris, France : Delachaux et Niestlé.

JERMANN, P. (2004). *Computer Support for Interacting Regulation in Collaborative Problem-Solving* (Thèse, Université de Genève, Suisse).

KOMIS, V. et MISIRLI, A. (2012). L'usage des jouets programmables à l'école maternelle: Concevoir et utiliser des scénarios pédagogiques de robotique éducative. Dans *Actes du Colloque SIEST Méditerranée - Dispositifs, démarches, apprentissage dans l'Enseignement des sciences et technologies, Revue Skholé*, 17, 143-154. IUFM Aix-Marseille, France.

KOMIS, V. et MISIRLI, A. (2013). Etude des processus de construction d'algorithmes et de programmes par les petits enfants à l'aide de jouets programmables. Dans B. Drot-Delange, G.-L. Baron et E. Bruillard (dir.), *Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) en milieu éducatif, Actes du colloque DidaPro5 - DidaSTIC*, Clermont-Ferrand, France. Repéré sur l'archive HAL à <https://hal.archives-ouvertes.fr/edutice-00875628/document>

LEROUX, P., NONNON, P. et GINESTIÉ, J. (dir.). (2005). Actes du 8^e Colloque francophone de robotique pédagogique. *Skholé HS(2)*. IUFM Aix-Marseille.

NASTRI, J., PENA, J. et HANCOCK, J.T. (2006). The Construction of Away Messages: A Speech Act Analysis. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 11(4), 1025-1045.

PALINCSAR, A.S. et Brown, A.L. (1984). Reciprocal Teaching of Comprehension-Fostering and Comprehension-Monitoring Activities. *Cognition and Instruction*, 1(2), 117-175.

PAPERT, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit. Ordinateur et apprentissage*. Paris, France : Flammarion.

PAULUS, T.M. (2005). Collaborative and Cooperative Approaches to Online Group Work: the Impact of Task Type, *Distance Education*, 26(1), 111-125.

PEKÁROVÁ, J. (2008). Using a Programmable Toy at Preschool Age: Why and How? Dans *Workshop Proceedings of the 1st International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN 2008)* (p. 112-121).

PERRET-CLERMONT, A.-N. (2000). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne, Suisse : Peter Lang.

PLÉTRY, R. (1998). *Comment apprendre et se former en groupe*. Paris, France : Retz.

QUINTIN, J.-J. (2008). *Accompagnement tutoral d'une formation collective via Internet : Analyse des effets de cinq modalités d'intervention tutorale sur l'apprentissage en groupes restreints* (Thèse, Université de Mons, Belgique).

STREBELLE, A. et DEPOVER, C. (2013). Analyse d'activités collaboratives à distance dans le cadre d'un dispositif d'apprentissage de la modélisation scientifique. *Distances et Médiations des Savoirs*, 3, 2-24.

TEMPERMAN, G. (2013). *Visualisation du processus collaboratif et assignation de rôles de régulation dans un environnement d'apprentissage à distance* (Thèse, Université de Mons, Belgique).

VYGOTSKY, L.S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner et E. Souberman, dir.). Cambridge, MA : Harvard University Press.

WEINBERGER, A. et FISHER, F.A. (2006). A Framework to Analyze Argumentative Knowledge Construction in Computer-Supported Collaborative Learning. *Computers and Education*, 46, 71-95.



Analyse de connaissances perceptivo-gestuelles dans un Système Tutoriel Intelligent

► **Ben-Manson TOUSSAINT** (SITERE, Port-au-Prince), **Vanda LUENGO** (LIP6, Paris), **Francis JAMBON** (LIG, Grenoble)

■ **RÉSUMÉ** • Pour couvrir toutes les facettes des connaissances multimodales telles que les connaissances perceptivo-gestuelles, divers périphériques sont exploités. Les traces produites par ces derniers fournissent des informations pertinentes sur l'activité de l'apprenant. Cependant elles sont multi-sources et hétérogènes et, de ce fait, difficiles à traiter automatiquement. Pour faciliter leur traitement, il convient de leur fournir une représentation formelle qui reflète l'activité multimodale à laquelle elles sont liées. Cet article décrit notre proposition de formalisation de ce type de traces enregistrées à partir d'un Système Tutoriel Intelligent dédié à la chirurgie orthopédique percutanée, TELEOS.

■ **MOTS-CLÉS** • Connaissances perceptivo-gestuelles, chirurgie orthopédique percutanée, Système Tutoriel Intelligent, TELEOS

■ **ABSTRACT** • *To cover the aspects of multimodal knowledge such as perceptual-gestural knowledge, various devices are required. Traces produced by these devices provide rich information and often accurate on learners' activity. However, those traces are multi-source and heterogeneous and, thus, difficult to process automatically. To foster their treatment, a formal representation that reflects consistent multimodal activity, to which they are linked, is needed. This paper describes our proposal to formalize this type of traces recorded from TELEOS, an Intelligent Tutoring System dedicated to percutaneous orthopedic surgery.*

■ **KEYWORDS** • *Perceptual-gestural knowledge, percutaneous orthopedic surgery, Intelligent Tutoring System, TELEOS*

1. Introduction

Les connaissances perceptivo-gestuelles sont une combinaison de connaissances théoriques, de connaissances perceptuelles et de connaissances motrices liées aux gestes. Dans les systèmes tutoriels intelligents, ces connaissances s'expriment à travers les interactions de l'apprenant avec le système. Ces interactions se composent de perceptions accompagnant les actions et/ou les gestes exécutés. Les perceptions servent de contrôles pour la validation ou les décisions d'exécution de ces actions/gestes. Nous faisons l'hypothèse, dans notre travail, qu'elles fournissent des indications pertinentes sur les informations prises en compte dans les décisions de l'apprenant et de ce fait, ne sont pas négligeables du point de vue de l'analyse du processus d'apprentissage.

Ces connaissances sont cependant empiriques et souvent tacites (Vadcard *et al.*, 2009). Par conséquent, elles sont difficiles à capturer et à modéliser. En fait, la capture des connaissances perceptivo-gestuelles dans les environnements d'apprentissage simulés requiert l'exploitation de différents capteurs capables d'enregistrer les différentes modalités des interactions mises en jeu par l'apprenant. Ces capteurs sont des périphériques indépendants qui produisent des traces d'activités hétérogènes. Dans ce travail, nous nous intéressons à la définition d'une méthodologie pour la formalisation de ce type de traces dans l'objectif d'analyser les interactions multimodales de l'apprenant et les connaissances qu'elles sous-tendent.

Notre cas d'étude est TELEOS, un Système Tutoriel Intelligent orienté simulation, dédié à la chirurgie orthopédique percutanée (Luengo *et al.*, 2011a). Les connaissances du domaine de la chirurgie percutanée sont perceptivo-gestuelles (Ceaux *et al.*, 2009 ; Mathews *et al.*, 2012) : ce type d'opérations chirurgicales nécessite une coordination mentale entre les connaissances théoriques en anatomie, l'analyse de radiographies en 2D et la manipulation en 3D d'objets réels tels que le trocart et l'outil de radioscopie (fluoroscope), pour pouvoir assurer la trajectoire correcte des outils chirurgicaux vers la zone anatomique ciblée. Nous cherchons à mettre en lumière comment la prise en compte de ces différents aspects de l'activité chirurgicale est pertinente pour l'analyse de l'activité de l'apprenant.

La suite de l'article est organisée comme suit : la section 2 présente un état de l'art sur les travaux adressant des domaines faisant intervenir des connaissances multimodales et des travaux exploitant les perceptions à

des fins d'analyses de l'apprentissage ; dans la section 3 nous décrivons le domaine, le déroulement d'un type d'opération chirurgicale percutanée, la vertébroplastie, et le caractère perceptivo-gestuel de l'activité du chirurgien au cours de la réalisation de ce type d'opération ; dans la section 4, nous présentons la méthodologie utilisée pour capter les interactions de modalités différentes au cours des simulations de vertébroplastie sur TELEOS ; dans la section 5, nous faisons une présentation détaillée de notre approche pour l'identification d'interactions de différentes modalités liées à une même activité ; dans la section 6, nous soulignons l'importance de prendre en compte les réponses du système aux actions de l'apprenant ; dans la section 7, nous détaillons notre proposition de formalisation d'interactions multi-sources et hétérogènes en séquences perceptivo-gestuelles reflétant les différentes modalités de ces interactions ; nous présentons, dans la section 8, les expérimentations conduites dans le but d'évaluer cette proposition et nous concluons l'article dans la section 9.

2. État de l'art

La littérature rapporte beaucoup de travaux de recherche sur la conception de systèmes d'apprentissage dédiés à des domaines faisant intervenir des connaissances perceptivo-gestuelles. Nous pouvons citer les travaux réalisés par Mulgund *et al.* (1995) sur le pilotage d'hélicoptères, par Remolina *et al.* (2004) sur l'aviation et par Weevers *et al.* (2003) et de Winter *et al.* (2008) sur la conduite automobile. Plus récemment, le Système Tutoriel Intelligent CanadarmTutor a été proposé pour l'entraînement des astronautes de la Station Spatiale Internationale à la manipulation d'un bras articulé robotisé (Fournier-Viger *et al.*, 2011).

Cependant, l'emphase est portée, dans ces travaux, sur les actions et les gestes, et non sur les perceptions accompagnant ces derniers. Par exemple, dans CanadarmTutor, la manipulation du bras robotisé d'une configuration à une autre est guidée par des caméras dans différentes scènes d'opération. Les perceptions visuelles intervenant au cours de la manipulation du bras robotisé jouent probablement un rôle important dans le processus et, de ce fait, leur prise en compte dans l'analyse de l'activité de l'apprenant serait pertinente.

D'autres travaux ont été conduits sur l'analyse des perceptions en contexte d'apprentissage. Par exemple, les perceptions visuelles sont capturées et analysées pour inférer les performances cognitives de l'apprenant (Steichen *et al.*, 2013) ou pour inférer leurs capacités

métacognitives en apprentissage exploratoire (Conati et Merten, 2007). D'autres chercheurs exploitent de préférence les informations perceptuelles collectées pour mesurer la charge mentale de l'apprenant ou leur effort cognitif en situation d'apprentissage (Lach, 2013) ou encore pour inférer leur comportement au cours du processus d'apprentissage (D'Mello *et al.*, 2012 ; Mathews *et al.*, 2012). D'autres études font intervenir des capteurs permettant d'enregistrer les postures physiques, les expressions faciales et corporelles dans le but d'analyser des signaux émotionnels de l'apprenant (Ríos *et al.*, 2000).

Dans notre travail, nous faisons l'hypothèse que les prises d'informations perceptuelles peuvent dénoter, à l'instar des actions/gestes qu'elles accompagnent, l'état des connaissances de l'apprenant. De ce fait, nous pensons qu'elles doivent être analysées d'un point de vue épistémique. Spécifiquement, pour notre cas d'étude, les experts ont indiqué l'importance des vérifications de points anatomiques précis sur les radios pour accompagner la décision d'exécuter et de valider les gestes chirurgicaux (Ceaux *et al.*, 2009).

En d'autres termes, l'objectif de ce travail est de démontrer la pertinence d'analyser les connaissances perceptivo-gestuelles en considérant chacune de leurs caractéristiques multimodales. Nous décrivons dans la section suivante le déroulement d'un type d'opération orthopédique percutanée, la vertébroplastie, et soulignons les différentes modalités de l'activité du chirurgien au cours de cette opération.

3. La vertébroplastie : une opération chirurgicale percutanée

3.1. Déroulement d'une opération de vertébroplastie

La vertébroplastie est une opération chirurgicale mini-invasive réalisée pour traiter les fractures des vertèbres par l'injection d'un ciment osseux dans les vertèbres affectées, grâce à un outil d'insertion (le trocart). Cette opération est dite mini-invasive, car effectuée à travers la peau du patient, contrairement aux opérations classiques nécessitant une ouverture. De ce fait, le chirurgien ne dispose pas d'une visibilité directe de la progression de ses outils à travers le corps du patient. Le guidage s'effectue dans ce type d'opération par le biais d'imageries médicales (scanner ou radiographies) qui renvoient au chirurgien les informations sur la trajectoire de ses outils. En vertébroplastie, les images médicales utilisées

sont des radiographies générées tout au long de l'opération grâce à un fluoroscope.

Une opération de vertébroplastie se réalise en trois grandes phases :

- la phase de réglages du fluoroscope,
- la phase de repérage cutané,
- la phase d'insertion du trocart.

La phase de réglages sert à chercher le positionnement du fluoroscope optimisant la qualité des radiographies (de face et de profil) qui vont guider le chirurgien tout au long de l'opération. La phase de repérage cutané consiste à dessiner, sur la peau du patient, les lignes définissant le repère d'insertion adéquat du trocart. Enfin la phase d'insertion est celle où le trocart est manipulé de manière à atteindre la zone anatomique affectée pour y injecter le ciment osseux.

3.2. Le caractère multimodal d'une opération de vertébroplastie

L'interprétation des radiographies à des fins de guidage est une habileté cognitive qui requiert la coordination de la représentation en 2D renvoyée par les radiographies, avec la représentation en 3D dans le monde réel. De manière plus précise, la position d'un instrument chirurgical, relativement à l'environnement anatomique sur sa trajectoire, se conçoit sur trois dimensions. Par exemple, le positionnement complet du trocart est fourni par la combinaison de son positionnement sur l'axe antérieur (la profondeur d'insertion du trocart dans le corps du patient), son positionnement sur l'axe transversal (la position de la pointe de l'outil relativement aux limites droite et gauche du corps du patient) et son positionnement sur l'axe longitudinal (la position de la pointe de l'outil relativement à l'axe défini par la tête et les membres inférieurs du patient).

Cependant, les radiographies de guidage ne peuvent fournir qu'une représentation sur deux dimensions du positionnement de l'outil : les radiographies de face indiquent le positionnement sur l'axe transversal et l'axe longitudinal, et les radiographies de profil, sur les axes antéro-postérieur et longitudinal. Le positionnement réel de l'outil tout au long de sa trajectoire percutanée ne peut donc se faire que par le couplage d'au moins deux radiographies, soit au moins une radiographie fournissant une vue du point d'entrée du trocart (radiographie de face) et une radiographie fournissant une vue du point de progression du trocart (radiographie de profil) (*cf.* figure 1).

Ainsi, le chirurgien valide ses gestes et ses actions sur la base des contrôles visuels de ces radiographies. Ce travail de validation s'effectue par l'analyse du positionnement de l'outil vis-à-vis de certains points anatomiques précis du patient. De ce fait, les perceptions visuelles constituent une facette de l'ensemble des connaissances à maîtriser par le chirurgien.

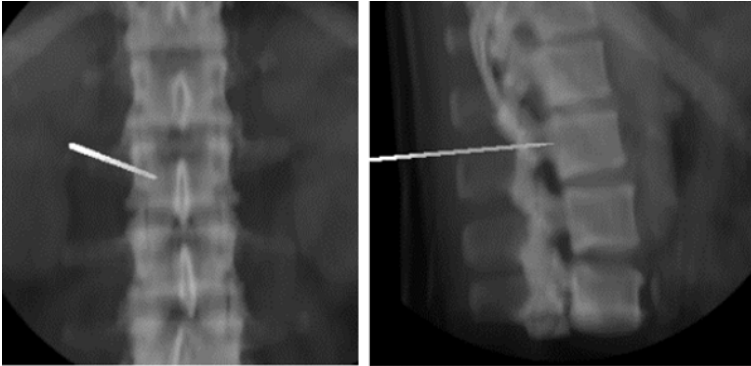


Figure 1 • Vue « point d'entrée » (radiographie de face) et vue « progression » (radiographie de profil) du trocart

Les connaissances mises en jeu pour la réalisation du geste chirurgical percutané comprennent une autre facette perceptuelle : les perceptions haptiques ressenties sur la trajectoire de l'outil chirurgical dans le corps du patient. Ces perceptions sont les résistances perçues par le chirurgien au contact de son outil avec les différentes parties de la zone anatomique traversée sur sa trajectoire d'insertion. Ces perceptions renvoient des informations sur la progression de l'outil sur la base desquelles le chirurgien adapte aussi son geste, en complément des informations visuelles recueillies à travers les radiographies.

Dans la section suivante, nous présentons la méthodologie utilisée pour capturer chacune des modalités des interactions de l'apprenant au cours des simulations de vertébroplastie dans l'environnement d'apprentissage TELEOS.

4. Capture de traces multimodales dans TELEOS

Pour pouvoir capter les différentes facettes des interactions mises en jeu au cours d'une simulation de vertébroplastie, deux périphériques sont utilisés en complément de l'interface de simulation qui enregistre les

actions ponctuelles de l'apprenant. Il s'agit d'un oculomètre pour tracer le comportement visuel de l'apprenant et d'un bras à retour d'effort pour capter les gestes effectués et les retours haptiques reçus par l'apprenant.

4.1. Les actions ponctuelles

Le simulateur enregistre des traces de manière ponctuelle à l'exécution d'une action. Il s'agit des actions liées aux réglages du fluoroscope, au tracé des repères cutanés et à la manipulation du trocart. Le tableau 1 présente un résumé des actions ponctuelles pouvant être exécutées à partir de l'interface du simulateur.

Chaque action est traitée comme une photographie de l'environnement de simulation au moment de son exécution. En effet, à chaque occurrence d'une action du simulateur, les coordonnées des positions des différents outils de l'environnement sont enregistrées. De ce fait, une action est caractérisée non seulement par son nom, mais aussi par les positions des outils de l'environnement de simulation au même moment.

**Tableau 1 • Actions ponctuelles enregistrées
à partir de l'interface de simulation**

Prise de radios	Repérage cutané	Manipulation du trocart
Definir_Face Contrôle_Face Definir_Profil Contrôle_Profil Radio_Face (avec réglette de repérage cutané)	Valider_RepèreGauche Valider_RepèreDroit Valider_RepèreTransversal	Placer_Trocart Pousser_Trocart Impacter_Trocart Entrée_CorpsVertebral Sortie_CorpsVertebral Sortie_Osseuse Recommencer_Trajectoire

Par exemple, tel qu'illustré dans la figure 2, deux prises de radio de face seront différentes si le positionnement du fluoroscope a changé entre les deux exécutions.

Chaque action est représentée par une séquence contenant les paramètres suivants :

- un code temporel,
- le nom de l'action,
- les coordonnées (x, y, z) du modèle 3D du patient,
- les coordonnées (x, y, z) de la position du fluoroscope en mode face,

- les coordonnées (x, y, z) de la position du fluoroscope en mode profil,
- les coordonnées (x, y) de l'affichage de la dernière radiographie prise,
- les coordonnées (x, y) de l'affichage de la radiographie précédente,
- les coordonnées (x, y, z) de la position du fluoroscope,
- les coordonnées (x, y, z) de la position de la pointe du trocart,
- les coordonnées (x, y, z) de la position de la poignée du trocart,
- les coordonnées (x, y, z) (x', y', z') de l'orientation du trocart,
- les coordonnées (x, y) , (x', y') , (x'', y'') des 3 repères cutanés.

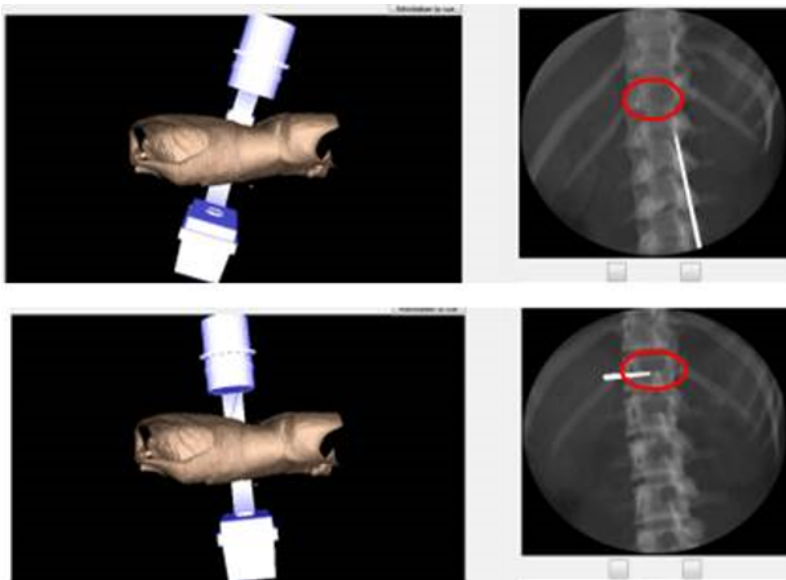


Figure 2 • Radiographies de face d'après deux inclinaisons différentes du fluoroscope

4.2. Les gestes et perceptions haptiques

Le geste chirurgical inclut les types de préhension des outils chirurgicaux, les niveaux de forces appliquées selon l'étape de progression et les inclinaisons, l'orientation et la direction d'insertion des outils (Luengo *et al.*, 2011b). Le recueil des données nécessaires à la modélisation des gestes chirurgicaux pour la vertébroplastie a été réalisé sur des maquettes de patients. L'instrumentation nécessaire (figure 3) inclut notamment des dynamomètres positionnés dans les maquettes pour pouvoir recueillir les données relatives aux niveaux de force appliqués sur le trocart et à la

vitesse de progression de celui-ci à des points de progression importants. Les principaux points de progression considérés pour une vertébroplastie sont le contact cutané, le contact osseux, l'entrée pédiculaire, la traversée du corps vertébral jusqu'au point de validation de la trajectoire du trocart.

La configuration du bras haptique a été réalisée sur la base de ces données. Le matériel utilisé dans l'environnement TELEOS est un *Sensible Phantom Omni* qui fournit six degrés de liberté avec un retour d'effort sur les trois axes de translation (figure 3-iii). Les résistances configurables sur cet appareil sont relativement faibles, mais suffisantes pour simuler des variations de densité du corps humain et des vertèbres sur la trajectoire des outils chirurgicaux (Luengo *et al.*, 2011a).



Figure 3 • (i), (ii) Instrumentations pour le recueil des données gestuelles et haptiques relatives à la manipulation du trocart. (iii) Bras haptique et dispositif matériel dans l'environnement de simulation

Les traces provenant de cet appareil sont enregistrées en continu toutes les 100 millisecondes. Chaque trace contient les paramètres suivants :

- un code temporel,
- les coordonnées (x, y, z) de la position de la pointe du trocart,
- les coordonnées (x, y, z) de la position du manche du trocart,
- les coordonnées (x, y, z) (x', y', z') de l'orientation du trocart,
- la vitesse de manipulation du trocart,
- la force appliquée sur le trocart.

Les paramètres d'orientation, de vitesse et de force sont les résultats d'un traitement préliminaire des traces haptiques (Luengo *et al.*, 2011a).

4.3. Les perceptions visuelles

L'interface de simulation est divisée en plusieurs zones d'intérêt (figure 4) : la zone d'affichage du modèle 3D du patient ; les zones d'affichage des radiographies précédentes et courantes ; le tableau de réglages

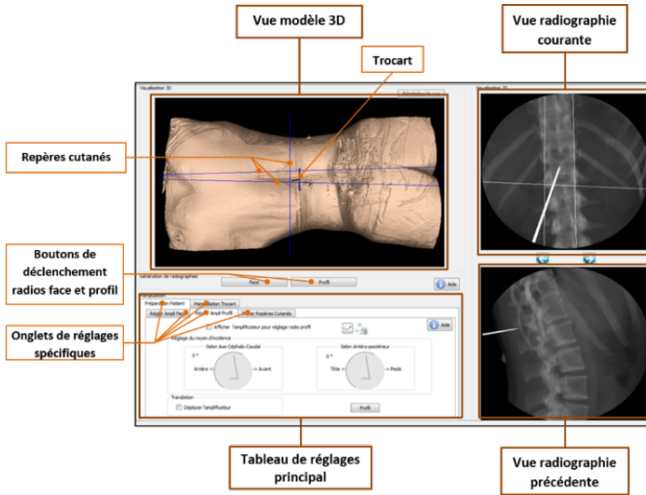


Figure 4 • L'interface du simulateur TELEOS

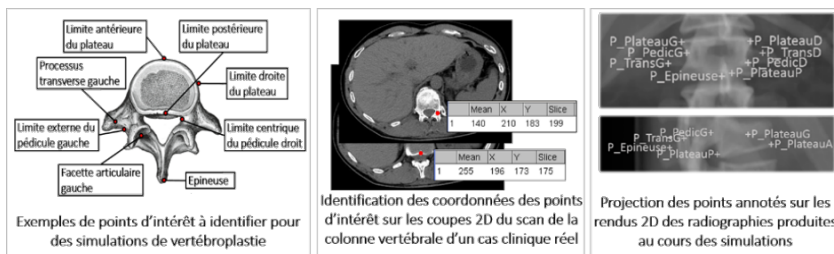


Figure 5 • Identification et annotation des points d'intérêt des vertèbres

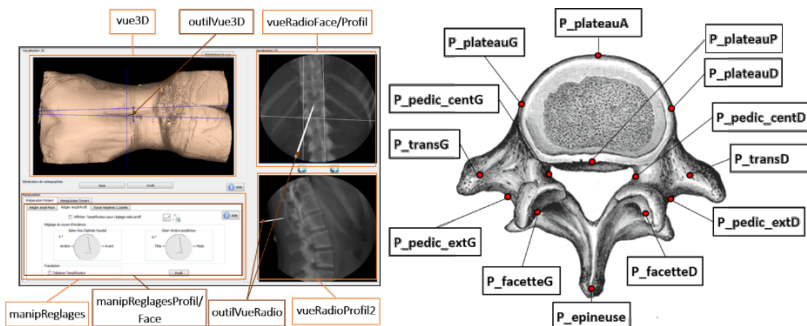


Figure 6 • Codes des zones et points d'intérêt enregistrés au cours des simulations de vertébroplastie

principal. Ce dernier comprend trois sous-sections : le tableau de réglages de l'appareil de radioscopie ou fluoroscope, le tableau de manipulation de la réglette pour le marquage de repères cutanés destinés à cibler l'os affecté, le tableau de manipulation de l'outil de guidage des instruments chirurgicaux ou trocart.

La zone d'intérêt associée à l'affichage de la radiographie courante comporte plusieurs points d'intérêt devant être pris en compte sur la vertèbre pour la validation de la trajectoire d'insertion du trocart. Les points d'intérêt de la vertèbre cible ont été désignés par un chirurgien expert pour chaque cas clinique modélisé et intégré dans la base d'exercices du simulateur. Tel qu'illustré dans la figure 5, leur identification est effectuée à partir des coupes en deux dimensions du scanner de la colonne vertébrale du patient. Les coordonnées de ces points sont enregistrées dans les métadonnées du cas clinique. Lorsque celui-ci est sélectionné comme exercice, les points enregistrés sont projetés sur les radiographies produites par l'apprenant. Les zones et points d'intérêt de l'interface et de la vertèbre sont illustrés dans la figure 6.

Un outil d'analyse des perceptions visuelles intégré au simulateur permet d'analyser le parcours visuel de l'apprenant (Jambon et Luengo, 2012). Il enregistre les coordonnées des perceptions, les zones et points d'intérêt visualisés ainsi que la durée des visualisations. La figure 7 illustre un parcours visuel (traces en bleu) à travers certaines zones d'intérêt de l'interface et certains points d'intérêt à l'intérieur de ces zones. Dans cet exemple, le chirurgien débute son exploration de l'interface en visualisant la position du trocart dans la zone 3D (en haut à gauche), puis parcourt certains repères anatomiques sur la dernière radiographie de profil effectuée (en haut à droite). Il s'intéresse ensuite aux repères anatomiques affichés sur la précédente radiographie de face (en bas à droite). Enfin, il termine son parcours visuel par la zone de réglage du fluoroscope (en bas à gauche) avant d'y exécuter la prochaine action.

Pour chaque trace de l'oculomètre, les enregistrements rapportent les paramètres suivants :

- un code temporel,
- le nom de la zone et/ou des points d'intérêt fixés,
- les coordonnées (x, y) de la perception,
- le rayon de la perception,
- la durée de la perception.

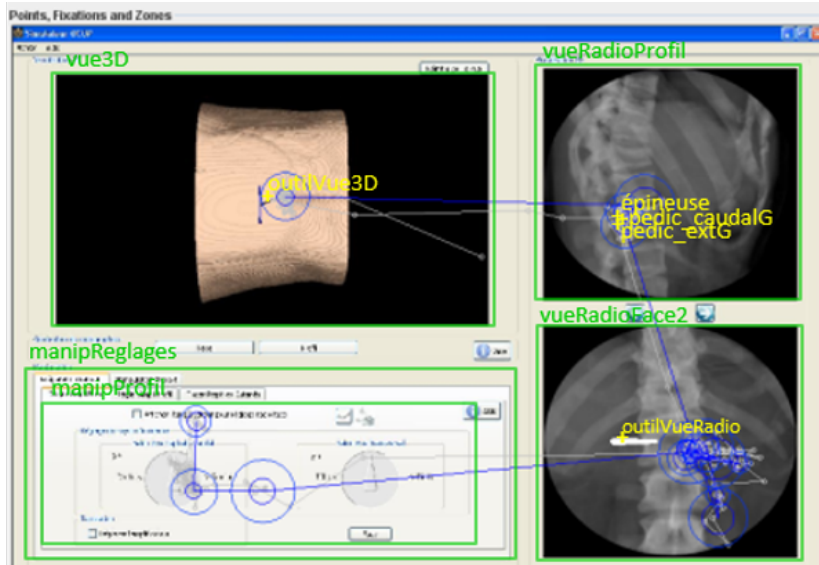


Figure 7 • Zones (en vert) et points (en jaune) d'intérêt de l'interface et parcours visuel de l'apprenant sous forme de données brutes (en gris) et perceptions (en bleu)

4.4. Hétérogénéité des traces

Chaque source enregistrant les interactions de l'apprenant séparément et indépendamment des autres périphériques, l'ensemble des traces obtenues est hétérogène. Cette hétérogénéité se retrouve à plusieurs niveaux.

Tout d'abord, les traces sont hétérogènes au niveau du type de leur contenu : les traces envoyées par l'interface du simulateur et les traces de l'oculomètre sont alphanumériques alors que celles envoyées par le bras haptique sont numériques. Elles sont aussi hétérogènes au niveau du format de leur contenu. En effet, chaque trace du logiciel de simulation compte 54 paramètres, celles provenant du bras haptique comptent 15 paramètres et celles provenant de l'oculomètre, 7 paramètres distincts. Enfin, les traces des différentes sources se distinguent au niveau de leur granularité temporelle. Les traces oculométriques sont envoyées et enregistrées en continu toutes les 30 millisecondes ; celles du bras haptique sont aussi envoyées et enregistrées en continu, mais à un intervalle de 100 millisecondes, tandis que celles du simulateur sont discrètes : elles sont produites et enregistrées de manière ponctuelle à l'exécution d'une action.

Le principal verrou technique à soulever à ce niveau est de fusionner ces traces de manière à les représenter sous forme de séquences cohérentes. Il s'agit de lier chaque action ou geste aux perceptions qui ont accompagné son exécution. Le verrou scientifique connexe consistera à valider la cohérence de cette représentation relativement à la connaissance multimodale qu'elle est censée traduire.

5. Jonction entre actions, gestes et perceptions

Le premier défi de la représentation des traces consiste à identifier les traces de chaque source représentant un aspect de la même interaction. En d'autres termes, il faut parvenir à relier actions, perceptions et gestes exécutés dans le but d'atteindre un même objectif. Pour illustrer par un exemple simple en chirurgie orthopédique percutanée, une prise de radiographie de profil, jointe à la perception de la position de l'épineuse de la vertèbre affectée et à une inclinaison puis un déplacement du trocart sur l'axe postéro-antérieur, permet d'inférer un élément de connaissance relatif au démarrage de la trajectoire d'insertion du trocart.

Nous faisons l'hypothèse que les perceptions visuelles sont exploitées comme support pour valider ou vérifier l'exécution d'une action ou la réalisation d'un geste, et que les perceptions haptiques sont exploitées comme support d'adaptation du geste. Il existe, de ce point de vue, plusieurs combinaisons possibles entre les différentes modalités de l'interaction. Nous distinguons ainsi des interactions perceptivo-gestuelles de type « *contrôle a priori* », « *contrôle a posteriori* » ou « *mixte* ».

5.1. Interaction perceptivo-gestuelle de type « contrôle a priori »

Une interaction perceptivo-gestuelle de type *contrôle a priori* fait référence à une interaction multimodale plaçant les contrôles perceptuels avant les actions ou les gestes. Pour illustrer par un exemple simple en chirurgie, le chirurgien vérifie le positionnement du trocart sur les radiographies de face et de profil avant d'amener l'outil au contact de la vertèbre ciblée. Dans ce cas de figure, l'interaction perceptivo-gestuelle est représentée par des items de modalités perceptuelles suivis des items d'action ou de geste. Ce type de perception peut être relatif à une validation avant une action.

5.2. Interaction perceptivo-gestuelle de type « contrôle a posteriori »

Une interaction perceptivo-gestuelle est de type « *contrôle a posteriori* » lorsque les items de modalités perceptuelles se placent après les actions et les gestes. En d'autres termes, les prises d'informations perceptuelles sont réalisées systématiquement après l'exécution des actions et gestes qu'elles accompagnent. Par exemple, une interaction perceptivo-gestuelle de type « *contrôle a posteriori* » est observée si le chirurgien insère le trocart puis vérifie son positionnement par rapport à la trajectoire prévue sur les radiographies.

5.3. Interaction perceptivo-gestuelle de type « mixte »

Une interaction perceptivo-gestuelle de type mixte désigne une interaction où les occurrences des items de différentes modalités sont simultanées. Il s'agit d'une interaction au cours de laquelle les prises d'informations perceptuelles s'effectuent dans le continuum d'un même geste ou en même temps qu'une action. Pour reprendre notre exemple, il s'agirait pour le chirurgien de procéder à une manipulation continue du trocart tout en vérifiant sa progression sur les radiographies prises.

5.4. Différenciation des perceptions

Toutes les perceptions ne sous-tendent pas les mêmes objectifs et ne mobilisent pas les mêmes ressources cognitives de l'apprenant. En chirurgie orthopédique percutanée, les perceptions visuelles requièrent du chirurgien la capacité mentale à coordonner les images radio en deux dimensions pour pouvoir se représenter de manière précise la position de ses outils par rapport aux zones anatomiques traversées. Pour leur part, les perceptions haptiques donnent une information moins précise sur la position des outils, mais moins difficile à interpréter quant à la texture de la région anatomique traversée par les outils.

Certaines perceptions visent une analyse précise de l'environnement alors que d'autres visent simplement une prise d'informations sur l'état de l'environnement. Par exemple, la visualisation de certains points précis d'une vertèbre sur une radio peut révéler une analyse de la validité du point d'insertion du trocart alors qu'une pression sur l'outil peut constituer une simple sollicitation d'un retour haptique dont le but est d'informer le chirurgien sur la rigidité de la zone anatomique traversée.

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons spécifiquement à la distinction des perceptions visuelles, sous l'hypothèse qu'elles permettent d'inférer avec plus de précision les intentions de l'apprenant ou, d'une manière générale, sa stratégie. Nous proposons de concevoir cette distinction sous deux grandes catégories : les perceptions visuelles de contrôle et les perceptions d'exploration.

5.4.1. Les perceptions visuelles de contrôle

Les perceptions visuelles de contrôle sous-tendent une activité cognitive dont le but est d'analyser l'environnement en mobilisant des connaissances précises. Cela rejoint le concept de contrôle du modèle cKc (Balacheff, 2013) en l'adaptant aux connaissances perceptivo-gestuelles. Au-delà d'une simple prise d'information visuelle, leur rôle est d'évaluer les actions exécutées. Par exemple, en vertébroplastie, la vérification du positionnement de l'épineuse pour décider du centrage de la vertèbre ciblée repose sur des perceptions de contrôle. En aviation, la lecture des indicateurs d'altitude, de variation d'altitude et de puissance du moteur au cours de la préparation à l'atterrissage repose aussi sur des perceptions de contrôle. Ces perceptions ciblent les points précis de l'environnement qui rendent compte des conséquences des actions ou gestes exécutés et donc des connaissances relatives à ces actions ou gestes.

5.4.2. Les perceptions visuelles d'exploration

Les perceptions visuelles dites d'exploration se limitent à une prise d'information sur l'état de l'environnement sans rapport aux connaissances (ici, perceptivo-gestuelles), mais plutôt relatives à la compréhension de l'environnement dans lequel les actions et gestes seront réalisés. Elles sont traduites par des visualisations moins précises que les perceptions de contrôle. Elles ciblent les éléments de l'environnement permettant d'agir sur celui-ci, c'est-à-dire les éléments de l'interface liés à l'exécution des actions telle que la manette de manipulation de l'outil de radioscopie en chirurgie percutanée. Par exemple, dans l'interface de TELEOS (cf. figure 7), la visualisation dans la zone de réglage du fluoroscope (en bas à gauche) permet d'explorer le rapport entre ces outils de l'interface et le positionnement du fluoroscope.

6. Les « interactions » du système

Nous désignons par *interactions du système* les interactions ne venant pas directement de l'activité de l'apprenant sur l'interface, mais ayant un rapport direct avec celle-ci. En d'autres termes, il s'agit des réactions du

système aux actions de l'apprenant. Pour illustrer, prenons l'exemple d'un STI où l'apprenant peut solliciter l'aide du système au cours de la résolution d'un problème. Il peut être pertinent de considérer le contenu et la forme de l'aide envoyée, dans la mesure où la façon dont ces réactions sont prises en compte et exploitées dans l'apprentissage peut avoir une forte corrélation avec les performances de l'apprenant (Paquette *et al.*, 2012). Dans notre cas d'étude, les interactions système considérées sont l'état de la simulation et les résultats du diagnostic de l'apprenant.

6.1. L'état de la simulation

L'état de la simulation désigne spécifiquement les positionnements de tous les artefacts de l'environnement de simulation à l'exécution d'une action (Guéraud *et al.*, 1999). Il rend compte de la manière dont l'exécution d'une action affecte l'environnement. Avant l'exécution d'une action, l'état de la simulation est une information exploitée par l'apprenant pour prendre sa décision ; après l'exécution de l'action, l'état de la simulation traduit les conséquences de celle-ci sur l'environnement.

L'objectif est non seulement de tracer les conséquences des actions de l'apprenant sur l'environnement d'apprentissage, mais aussi la manière dont cette action a été exécutée. Cette information peut être discrète (par ex. : « *Le trocart a une inclinaison caudale* »), ou continue (par ex. : « *Le trocart est incliné rapidement dans l'axe céphalo-caudal* »).

L'état de la simulation n'est pas directement tracé par le système, mais résulte d'un traitement dont l'objectif est d'effectuer une « photographie » de l'environnement d'apprentissage à la suite d'interactions directes de l'apprenant. La prise en compte de l'état de la simulation dans les séquences vise à rendre compte de l'ensemble des informations qui sous-tendent les décisions de l'apprenant. Partant du principe que ces décisions ne sont pas restreintes par une marche à suivre prédéfinie, par exemple avec des règles de production, nous faisons l'hypothèse que l'état de la simulation apporte des précisions supplémentaires non négligeables dans l'analyse de l'activité de l'apprenant.

6.2. Évaluation de l'activité de l'apprenant

Nous voulons procéder à des traitements automatiques sur les séquences d'interactions des apprenants en prenant en compte des évaluations de leur activité produites à partir de règles expertes (Amershi et Conati, 2007), (Beck, 2007).

Les évaluations à partir de règles expertes considérées dans ce travail sont appelées des « variables de situation » calculées par le module « modèle de l'apprenant » (Chieu *et al.*, 2010). Nous considérons les variables de situation comme des interactions du système, car elles constituent des réactions du simulateur directement liées à l'activité de l'apprenant. À titre d'illustration, les évaluations d'une radiographie prise par l'apprenant peuvent être les suivantes : « *Le centrage de la vertèbre sur la radiographie de face est correcte. La visibilité des disques vertébraux sur la radiographie de face est incorrecte* ». Ces évaluations sont directement liées au positionnement du fluoroscope choisi par l'apprenant pour générer les radiographies qui vont le guider au cours de l'opération.

7. Formalisation des séquences perceptivo-gestuelles

Nous décrivons ci-dessous la représentation conceptuelle proposée pour les séquences perceptivo-gestuelles sur la base des caractéristiques décrites dans les sections 5 et 6. Nous faisons une distinction entre séquences perceptivo-gestuelles et séquences perceptivo-gestuelles enrichies. Les séquences perceptivo-gestuelles représentent les interactions impliquant des actions et/ou des gestes et les perceptions accompagnant ceux-ci. Les séquences perceptivo-gestuelles enrichies comportent, en complément des actions/gestes et perceptions, des informations sur l'état de la simulation et des informations sur les évaluations de l'activité de l'apprenant (voir section 6 « Les interactions du système »).

7.1. Séquences perceptivo-gestuelles

Définition 1 (*séquence perceptivo-gestuelle*). Une séquence perceptivo-gestuelle est une liste d'*items* S , telle que :

$$S : \langle Aa_i | Gg_j ; Pp_k \rangle$$

Avec :

- A : les actions enregistrées dans la séquence ;
- G : les gestes enregistrés dans la séquence ;
- $|A \cup G| \geq 1$: une séquence perceptivo-gestuelle comprend au moins une action ou un geste ;
- a_i : les paramètres des actions ;
- g_j : les paramètres des gestes ;
- P : les perceptions accompagnant les actions et gestes ;
- p_k : les paramètres des perceptions.

Un *itemset* est un ensemble d'items cooccurrents (Agrawal et Srikant, 1994). Dans notre représentation d'une séquence perceptivo-gestuelle, les points-virgules délimitent les *itemsets* sur la base de leurs occurrences. « A | G » (A ou G) indique qu'une séquence perceptivo-gestuelle inclut des items d'actions ponctuelles ou de gestes.

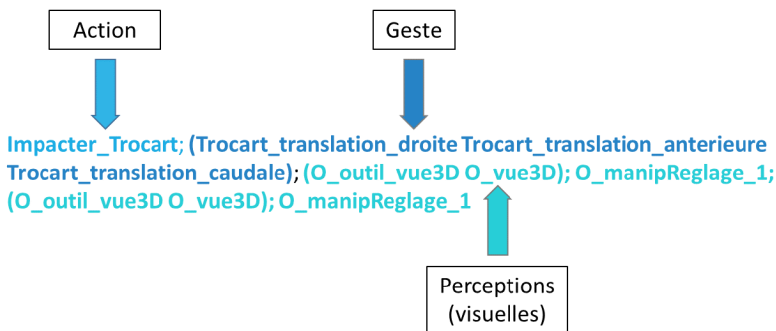


Figure 8 • Représentation d'une séquence perceptivo-gestuelle

La figure 8 illustre par un exemple la représentation d'une séquence perceptivo-gestuelle. Cette séquence rapporte l'exécution de l'action « *Impacter_trocart* ». Celle-ci traduit l'action du chirurgien d'amener le trocart au contact de la vertèbre au niveau du point d'entrée ciblé. Dans cet exemple, seule l'action ponctuelle (A) est prise en compte, et non ses paramètres (a_i).

Le geste rapporté dans la séquence informe que le trocart a été enfoncé (*trocart_translation_antérieure*), avec un déplacement vers le côté droit du patient (*trocart_translation_droite*), dans la direction de ses membres inférieurs (*trocart_translation_caudale*). Les parenthèses indiquent que ces trois items sont co-occurents. Dans notre cas d'étude, les gestes sont déduits de la variation des coordonnées du bras haptique traduite selon le système de référence en anatomie (Toussaint *et al.*, 2015b).

Les paramètres des perceptions visuelles rapportent les zones d'intérêt de l'interface qui ont été analysées. Par exemple, *O_outil_vue3D* fait référence à une vérification du positionnement du trocart sur le modèle en 3 dimensions du patient et *O_manipReglage_1*, à une visualisation du panel de réglage du fluoroscope. Le suffixe « *_1* » précise que la visualisation de cette zone a duré moins de 1 000 millisecondes.

7.2. Séquences perceptivo-gestuelles enrichies

Définition 2 (*séquence perceptivo-gestuelle enrichie*). Une séquence perceptivo-gestuelle enrichie est une liste S_e de séquences, telle que :

$$S_e: \langle (S_i; T_i); (V_q(v_i)) \rangle$$

Avec :

- S_i : les séquences perceptivo-gestuelles composant la séquence enrichie ;
- T_i : les états de la simulation enregistrés dans S_i ;
- V_q : des variables d'évaluation à partir de règles expertes ou « variables de situation » évaluant les séquences S_i ;
- v_i : les valeurs des variables d'évaluation.

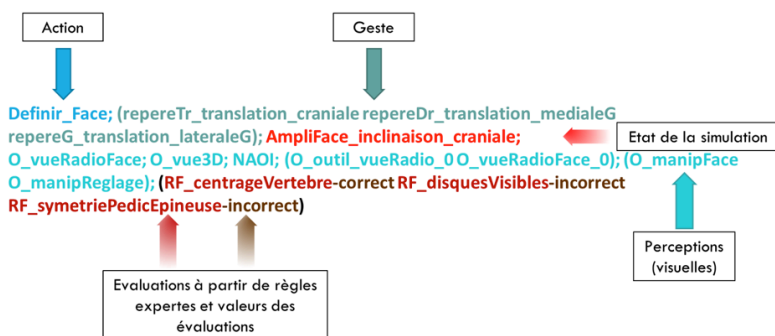


Figure 9 • Représentation d'une séquence perceptivo-gestuelle enrichie

La figure 9 illustre la représentation formelle décrite dans la Définition 2, par un exemple de notre cas d'étude.

La séquence illustrée ci-dessus représente une action de prise de radio de face suivie par le traçage des repères cutanés. Pour rappel, les repères cutanés servent à marquer le point d'entrée du trocart sur la peau du patient. L'item sur l'état de la simulation, *AmpliFace_inclinaison_craniale*, précise que l'appareil de radioscopie est incliné vers la tête du patient.

Les états de la simulation sont déduits de la sémantisation des paramètres des actions ponctuelles. En effet, lorsqu'une action ponctuelle, telle que « *Definir_Face* » est exécutée, le simulateur prend une « photographie » de l'interface de simulation. En d'autres mots, le simulateur capte les coordonnées de tous les outils de l'interface au moment de l'exécution de l'action et les enregistre, dans les traces brutes, comme les

paramètres de cette action. Ensuite, ces traces sont analysées pour donner du sens vis-à-vis du problème.

Enfin, les évaluations contenues dans chaque séquence perceptivo-gestuelle enrichie indiquent la conformité de cette action au regard d'un ensemble de règles expertes. Dans notre exemple, l'affichage de la radio prise lors de l'exécution de l'action « Définir_Face » est évaluée par trois variables. *RF_centrageVertebre-correct* rapporte que le centrage de la vertèbre ciblée sur la radio de face est correct, alors que *RF_disquesVisibles-incorrect* indique que la visibilité des disques des vertèbres affichées sur la radio est incorrecte ; et *RF_symetriePedicEpineuse-incorrect*, que la symétrie de l'épineuse par rapport aux pédicules de la vertèbre ciblée est incorrecte.

8. Réification du modèle de représentation des séquences perceptivo-gestuelles

Pour réifier le modèle décrit dans la section précédente, nous avons développé le framework PeTRA (PERceptual-gestural TRACes treatment framework) (Toussaint *et al.*, 2015b). PeTRA offre un ensemble d'outils permettant, d'une part, de représenter des traces multi-sources hétérogènes en séquences perceptivo-gestuelles et, d'autre part, de procéder à des analyses de l'apprentissage et à l'extraction de motifs de connaissances fréquents sur la base de ces séquences.

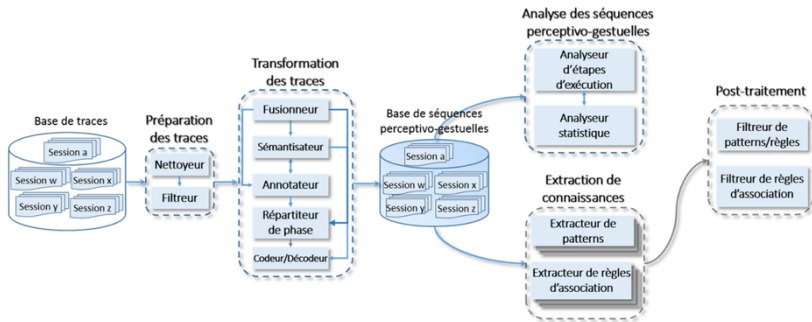


Figure 10 • Schéma du framework PeTRA

Le framework est développé sous la forme d'un processus exploitant une chaîne de logiciels ; ces logiciels sont des outils à fonction unique que nous appelons des « opérateurs » (Mandran *et al.*, 2015). Cette structure, schématisée dans la figure 10, a été choisie dans un souci de rendre le processus flexible et évolutif. En effet, cette structure facilite les

manipulations qui consistent à écarter au besoin les opérateurs jugés non pertinents pour les objectifs de traitement visés, à agencer les opérateurs que l'on veut exploiter et à en intégrer de nouveaux si nécessaire. Dans cet article, nous nous concentrons sur les opérateurs de fusion, de sémantisation et d'annotation. Ces opérateurs font partie de la phase « Transformation de traces » du processus de traitement. Ce sont les principaux opérateurs permettant de transformer les traces brutes multi-sources de notre cas d'étude en séquences perceptivo-gestuelles et séquences perceptivo-gestuelles enrichies. L'ensemble du framework et les opérateurs qui le composent sont décrits *in extenso* dans (Toussaint, 2015, chap.7).

8.1. L'opérateur de fusion

L'opérateur de fusion ou « fusionneur » a pour rôle de synchroniser les traces multi-sources se référant à une interaction multimodale, sur la base de leur correspondance séquentielle. L'objectif est de lier les actions et gestes aux perceptions qui les accompagnent sans perdre la séquentialité des occurrences des différentes modalités.

L'opération de fusion est réalisée en deux phases. Dans un premier temps, les traces des différentes sources sont jointes dans un même ensemble et ordonnées séquentiellement. Dans un deuxième temps, l'opérateur fusionne les actions, les gestes et les perceptions sur la base de la configuration de fusion choisie. En fonction du domaine, ou de l'analyse didactique ou pédagogique ciblée, la configuration de fusion entre les traces perceptuelles et une action ou un geste peut être établie sur la base d'un lien de type « contrôle a priori », de type contrôle « a posteriori » ou bien « mixte » (voir section 5 « Jonction entre actions, gestes et perceptions »). En d'autres termes, les perceptions seront considérées comme liées à une action (ou à un geste) si elles précèdent, suivent ou bien sont simultanées à cette action (ou ce geste).

Dans notre cas d'étude, chaque action exécutée à partir de l'interface du simulateur TELEOS est associée à plusieurs traces de l'oculomètre et du bras haptique. Les interactions sont considérées de type « contrôle a posteriori » (voir section 5). Par exemple, si l'interne cherche à positionner le trocart, l'action *Placer_Trocart* va être envoyée par le simulateur. Les différentes manipulations (déplacements, force, vitesse) destinées à placer l'outil dans la position et l'inclinaison idoines sont enregistrées par le bras haptique. Les points visualisés sur la radiographie prise et sur le modèle 3D

sont enregistrés par l'oculomètre. Plusieurs points de fixation et plusieurs gestes correspondent donc à une occurrence de l'action *Placer_Trocart*.

8.2. L'opérateur de sémantisation

L'opérateur de sémantisation ou « sémantisateur » a été implémenté dans l'optique de traduire les coordonnées brutes des objets de l'environnement de simulation en dénominations sémantiques.

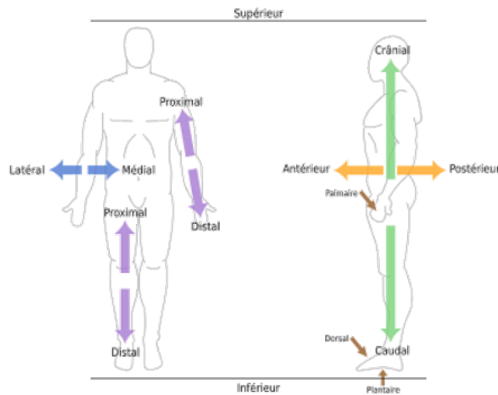


Figure 11 • Qualificatifs d'orientation et de mouvement dans le système de référence en anatomie

Dans notre cas d'étude, les traces ne rapportent que les nouvelles coordonnées des positions des outils quand ceux-ci sont manipulés. Pour caractériser les changements résultant de ces manipulations, l'opérateur de sémantisation prend en entrée les traces fusionnées dans l'étape précédente et la liste des dénominations sémantiques correspondant aux différents changements de coordonnées possibles pour chaque objet de l'environnement. Les dénominations sémantiques utilisées sont tirées du système de référence en anatomie illustré dans la figure 11.

L'opérateur utilise les coordonnées de la séquence courante rapportant les nouvelles positions des outils, et les coordonnées de la séquence précédente par rapport auxquelles le changement effectué sera caractérisé. Les séquences produites à cette étape traduisent, non seulement les conséquences de la manipulation des outils sur leur positionnement, mais aussi la manière dont cette manipulation a été effectuée. Cette information peut être discrète (par ex. «Le trocart a une inclinaison

caudale ») ou continue (par ex. « Le trocart est incliné rapidement dans l’axe cranio->caudal »).

Le tableau 2 présente un exemple de séquences de traces avec des coordonnées brutes et le résultat de la sémantisation. Par souci de simplification, seules les coordonnées du trocart sont présentées dans cet exemple.

Tableau 2 • Sémantisation des coordonnées des outils

Traces fusionnées				
	Actions simulateur	Coordonnées manche et pointe du trocart		Perceptions, (durées en ms)
S1	Controle_Face	(150.126, -115.484, 114.948) (153.729, 6.744, 153.264)		manipReglage, 1109 (outil_vue3D vue3D, 2757)
S2	Placer_Trocart	(150.126, -115.484, 114.948) (153.729, 6.744, 153.264)		(outil_vueRadio vueRadioFace, 359) vueRadioFace, 3717
S3	Controle_Face	(141.384, -114.981, 120.160) (153.729, 6.744, 153.264)		(O_outil_vue3D O_vue3D, 280) O_manipReglage, 14284
S4	Impacter_Trocart	(141.454, 114.009, 120.119) (153.801, 7.740, 153.208)		O_manipReglage, 1199 O_vueRadioFace, 809
Séquences sémantisées				
	Actions simulateur	Actions trocart	Etats des outils	Perceptions, (durée en ms)
S2-S1	Placer_Trocart	Aucune	AmpliProfil_inclinaison_craniale* Trocart_inclinaison_droite* Trocart_nonInsere	(O_outil_vueRadio O_vueRadioFace) O_vueRadioFace
S3-S2	Controle_Face	Trocart_translation_droite Trocart_translation_anterieure	AmpliProfil_inclinaison_craniale Trocart_nonInsere	(O_outil_vue3D O_vue3D) O_manipReglage_1
S4-S3	Impacter_Trocart	Trocart_translation_droite Trocart_translation_anterieure Trocart_translation_caudale	AmpliProfil_inclinaison_craniale Trocart_nonInsere	O_manipReglage O_vueRadioFace
* Dernier état connu du fluoroscope et du trocart. **Suffixe traduisant une fixation prolongée relativement au domaine.				

On peut remarquer que le dernier état connu de tous les outils est rapporté d’une séquence à l’autre. En effet, dans l’exemple du tableau, le dernier état connu du fluoroscope ainsi que le dernier état connu du trocart sont mentionnés dans la séquence sémantique S2-S1, même si la séquence ne rapporte aucune manipulation de ce dernier entre S1 et S2.

De plus, si cela est jugé nécessaire dans les traitements visés, l'opérateur permet aussi de caractériser les perceptions visuelles sur la base de leur durée en visualisations brèves, normales ou prolongées. Dans ce travail, le seuil pour une visualisation brève est de moins de 200 millisecondes ; pour une visualisation normale, entre 200 millisecondes et 2 secondes ; et pour une visualisation longue, au-delà de 2 secondes. Ces seuils sont dépendants du domaine. Ils ont été déterminés à partir de l'observation de la conduite d'une opération par un chirurgien expert en situation réelle et l'interview de cet expert, après l'opération, sur son comportement lié aux perceptions visuelles.

8.3. L'opérateur d'annotation

L'opérateur d'annotation ou « annotateur » permet d'intégrer automatiquement des évaluations calculées à partir de règles expertes dans les séquences perceptivo-gestuelles et de produire des séquences perceptivo-gestuelles enrichies.

Dans le cas de TELEOS, des évaluations, appelées *variables de situation*, sont calculées à partir de règles expertes tout au long d'une session de simulation (Chieu *et al.*, 2010). Chaque variable de situation évalue une action ou un groupe d'actions ; plusieurs variables de situation peuvent évaluer une même action ou un même groupe d'actions.

Tel que schématisé dans la figure 12, l'annotateur reçoit en entrée les séquences sémantisées et les variables de situation calculées au cours d'une session de simulation. L'annotateur identifie ensuite les séquences pour lesquelles elles ont été calculées et les intègre dans ces séquences sous forme d'*itemsets*.

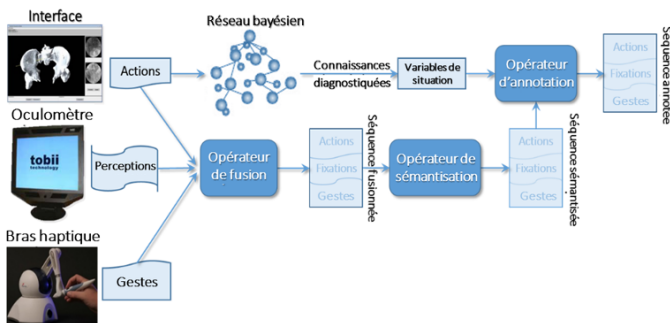


Figure 12 • Schéma de l'opération d'annotation des séquences dans TELEOS

9. Expérimentations

Notre proposition de formalisation des séquences perceptivo-gestuelles a été de représenter celles-ci sous forme d'*itemsets*. Chaque *itemset* regroupe des items de différentes modalités ayant été identifiés comme cooccurrents. Les séquences sont étendues avec les interactions du STI en réponse à l'activité de l'apprenant. Il s'agit concrètement d'intégrer dans ces séquences les états de la simulation et les évaluations des actions de l'apprenant générées par le STI.

Nous avons émis l'hypothèse **(H1)**: « l'intégration des interactions multimodales de l'apprenant dans des séquences perceptivo-gestuelles améliore la précision de l'analyse de ses activités dans un contexte d'apprentissage ». Nous évaluons cette hypothèse dans cette première partie de nos expérimentations. Les questions de recherche conduisant notre démarche expérimentale pour cette première partie sont les suivantes :

QR1 : *La représentation multimodale des interactions de l'apprenant est-elle pertinente d'un point de vue didactique ?*

QR2 : *Quelle est la cohérence entre les actions/gestes de l'apprenant et ses perceptions ?*

Les réponses recherchées visent à estimer l'intérêt de cette proposition et, par là même, l'utilité générale du framework PeTRA proposé pour l'implémenter. En effet, les questions précédentes nous conduisent à celles de l'implémentation du modèle et à la possibilité de l'analyser et de l'exploiter. Elles nous mènent, plus spécifiquement, à celles de l'efficacité des outils proposés pour prendre en charge ces traitements.

QR3 : *Les outils proposés permettent-ils d'implémenter le modèle proposé ?*

QR4 : *Les outils proposés permettent-ils de modéliser l'activité de l'apprenant en intégrant les différentes facettes de ses interactions ?*

Ces questions sous-tendent l'hypothèse **(H2)** stipulant que « l'implémentation du modèle de représentation avec les outils informatiques proposés permet de structurer le traitement et l'analyse de l'activité de l'apprenant en adéquation avec la nature perceptivo-gestuelle de ses connaissances ».

9.1. Méthodologie

Pour l'évaluation des hypothèses formulées (H1 et H2), nous mettons à l'épreuve, dans notre cas d'étude, la possibilité d'analyser le

rapprochement entre les erreurs des internes et leurs perceptions visuelles, représentées dans les séquences perceptivo-gestuelles selon le modèle proposé. Tout le processus de traitement des traces a été réalisé avec le framework PeTRA. Une présentation détaillée du framework PeTRA peut être retrouvée dans les articles suivants : (Toussaint *et al.*, 2015a, 2015b). Pour pouvoir analyser le rapprochement entre les différentes parties de l'activité multimodale des internes, nous avons utilisé l'opérateur d'analyse du parcours de résolution du framework PeTRA.

Le parcours de résolution ciblé intègre trois types de comportements qui constituent les points de décisions définissant le parcours de l'apprenant au cours d'une simulation. Pour rappel, la vertébroplastie se réalise en trois phases et le STI TELEOS permet à l'apprenant de circuler librement entre les phases. En effet, l'apprenant peut choisir de commencer par n'importe quelle phase et peut revenir sur des phases déjà considérées comme validées s'il le souhaite. Dans le parcours qu'il définit ainsi tout au long d'une session de simulation, nous identifions (1) les validations de phase, (2) les retours sur phase et (3) les actions correctives. Les validations de phase sont définies par la décision de passer à la phase suivante ; les retours sur phase sont définis par les passages à une phase antérieure motivés par une erreur de validation identifiée par l'apprenant ; enfin, les actions correctives constituent toutes les actions effectuées lors d'un retour sur phase dans le but de corriger l'erreur de validation identifiée.

9.2. Protocole et données

Les traces utilisées pour cette étude proviennent de 9 sessions de simulation de vertébroplastie réalisées par 5 internes et 1 chirurgien expert du département d'Orthopédie Traumatologie du CHU de Grenoble. Hormis l'expert aucun des sujets n'avait utilisé le simulateur auparavant. Les exercices de simulation consistaient à traiter une fracture de la 11^e et/ou 12^e vertèbre thoracique. Avant de commencer, chaque sujet a visionné une vidéo de présentation du simulateur puis effectué une session de prise en main. Le tableau 3 détaille les données recueillies et traitées.

Le symbole « # » fait référence à « nombre », l'abréviation « p-g » désigne l'adjectif perceptivo-gestuelle et « VS », les mots variables de situation.

Tableau 3 • Traces collectées et traitées

Profil	N° Session	#Traces brutes	#Séq. p-g enrichies	#Visualisations	#VS incorrectes	#Erreurs validation	#Séq. correction
Interne	S01	2702	113	2033	750	9	11
Interne	S02	1636	37	885	178	4	4
Interne	S03	1118	33	690	208	3	5
Interne	S04	5107	128	2482	644	10	39
	S05	1677	41	858	174	6	10
Expert	S06	3432	59	1452	249	4	31
	S07	1828	47	1040	239	5	9
Interne	S08	5068	117	2514	644	20	36
	S09	1496	41	869	193	4	22

Les métadonnées présentées dans le tableau sous les rubriques « profil », « N° Session » et « Vertèbre opérée » ont été notées manuellement au cours de la collecte de données. Les autres caractéristiques ont été obtenues automatiquement avec l'opérateur d'analyse statistique appliqué dans un premier temps sur l'ensemble des traces brutes. Cette opération a permis le décompte du nombre de traces par session, toutes sources confondues. Autrement dit, la rubrique « Traces brutes » présente le nombre total d'interactions enregistrées par les trois sources : l'interface de simulation, l'oculomètre et le bras haptique.

Dans un second temps l'opérateur d'analyse statistique a été appliqué aux séquences perceptivo-gestuelles enrichies. Ces séquences sont celles obtenues après le passage, sur les traces brutes, des opérateurs de nettoyage, de filtrage, de fusion, de sémantisation et d'annotation. Le nombre de traces brutes ne présume pas du nombre de séquences enrichies qui vont être générées. En effet, les volumes de traces générées au cours d'une session sont grandement influencés par l'utilisation du bras haptique et le comportement lié aux perceptions visuelles. Par exemple, une utilisation intensive du bras haptique, de nombreuses visualisations et peu d'actions ponctuelles vont générer beaucoup de traces brutes. Par contre, peu de séquences perceptivo-gestuelles vont être générées à partir de ces traces. En effet, les interactions perceptuelles et gestuelles sont fusionnées avec les actions ponctuelles auxquelles elles se rapportent. Cela explique par exemple, l'écart entre les volumes de traces brutes des sessions S01 et S08 (soit, respectivement, 2702 et 5068) et la proximité de leurs volumes de séquences enrichies (soit 113 et 117).

Dans un deuxième temps, l'opérateur de parcours de résolution est appliqué aux séquences perceptivo-gestuelles enrichies. Il identifie les variables de situation notées incorrectes, les erreurs de validation et les séquences de correction. Pour rappel, les variables de situation sont les évaluations à base de règles expertes effectuées par le module de diagnostic du STI ; les erreurs de validation sont assimilées aux retours sur phase motivés par des validations de phase erronées ; et les séquences de correction se réfèrent aux interactions enregistrées au cours des retours sur phase. L'opérateur d'analyse statistique appliqué ensuite décompte ces éléments pour chaque session, ainsi que le nombre de visualisations totales enregistrées.

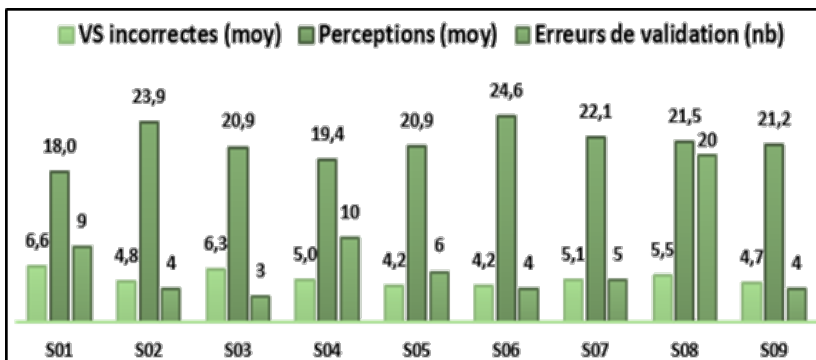


Figure 13 • Histogramme des variables de situation incorrectes, visualisations et erreurs de validation

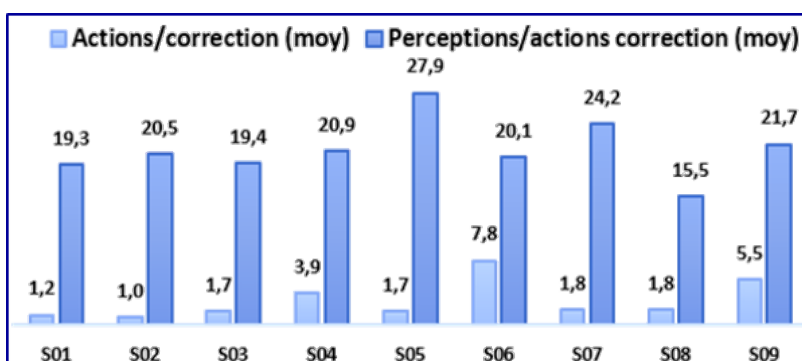


Figure 14 • Histogramme des séquences liées à une correction et des visualisations accompagnant ces séquences

9.3. Résultats

Le nombre de séquences variant beaucoup d'une session à l'autre, nous utilisons le nombre moyen de visualisations par séquence qui traduit mieux la tendance des analyses visuelles que le simple nombre des visualisations. Il en va de même pour les variables de situation incorrectes. Nous nous intéressons au nombre d'erreurs de validation commises dans une session, le nombre d'actions consacrées à la correction de ces erreurs ainsi que les perceptions liées à ces actions de correction.

Le graphique de la figure 13 résume la distribution des visualisations (perceptions), des variables de situation incorrectes et des erreurs de validation. La session avec la plus grande moyenne de visualisations (24,6) rapporte 19% de variables de situation incorrectes en moins que les autres. On peut constater la même relation entre les analyses visuelles et les erreurs de validation pour l'ensemble des sessions étudiées, excepté pour la session *S08*. En effet, cette session rapporte une forte moyenne d'analyses visuelles (21,5) et néanmoins beaucoup d'erreurs de validation (20). Cela s'explique par le fait que le sujet exécute à la fois peu d'actions de correction et très peu d'analyses visuelles pour supporter ces actions. En effet, dans le graphique de la figure 14, on constate que cette session a une faible moyenne de séquences liées à des corrections (1,8) lors d'un retour sur phase, couplée à la plus faible moyenne de visualisations de la série (15,5) pour ces corrections.

En comparaison, la session *S02* (figure 14) rapporte la plus faible moyenne d'actions de corrections (1,0), mais suffisamment d'analyses visuelles (20,5) pour consolider les décisions de validation et limiter les erreurs (4, figure 13).

De plus, on peut constater sur la figure 15 qu'une faible part des visualisations de la session *S08* est dédiée à des analyses visuelles de contrôle (7,7 contre 13,8 pour les visualisations liées à l'exploration). La session *S09* a été réalisée par le même sujet, mais on observe moins d'erreurs de validation et moins de variables de situation incorrectes, car tout en ayant sensiblement le même taux de visualisations, son comportement lié aux analyses visuelles s'est inversé et il consacre plus d'actions à la correction des erreurs.

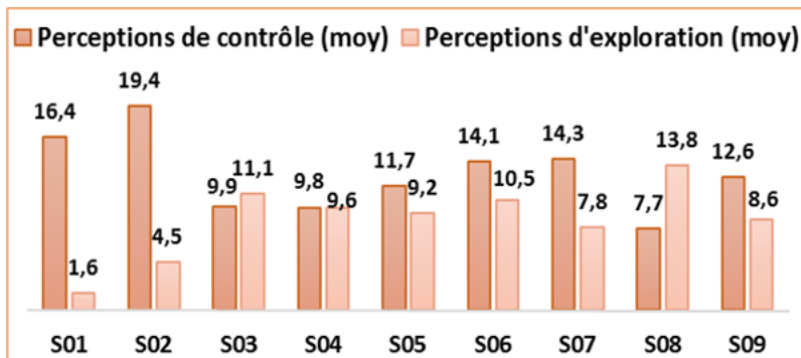


Figure 15 • Histogramme des visualisations de contrôle et d'exploration

9.4. Analyses

Le modèle de représentation proposé, implémenté à l'aide des opérateurs du framework PeTRA, a permis de représenter de manière cohérente des séquences d'interactions où des connaissances perceptivo-gestuelles sont mises en jeu.

Les résultats obtenus ont révélé une influence forte du comportement relatif aux analyses visuelles sur les erreurs commises au cours d'une session de simulation. Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse (H1) selon laquelle les différentes facettes des interactions apportent des précisions intéressantes à l'activité de l'apprenant. En effet, ils répondent aux questions de recherche QR1 (« La représentation multimodale des interactions de l'apprenant est-elle pertinente d'un point de vue didactique ? ») et QR2, (« Quelle est la cohérence entre les actions/gestes de l'apprenant et ses perceptions ? »). De plus, ces résultats ont permis de démontrer que les comportements de l'apprenant liés aux perceptions visuelles pouvaient être analysés de manière pertinente à partir des séquences représentées selon le modèle proposé. Ils ont permis d'estimer l'intérêt du modèle mais aussi la capacité du framework PeTRA proposé pour sa réification.

Les expérimentations avaient en effet pour but, également, d'évaluer l'hypothèse H2 sur la capacité des outils proposés à réifier notre modèle et faciliter l'analyse des connaissances perceptivo-gestuelles de l'apprenant. Les résultats obtenus adressent les questions de recherche sous-jacentes, QR3 (« Les outils proposés permettent-ils d'implémenter le modèle proposé ? ») et QR4 (« Les outils proposés, permettent-ils de modéliser

l'activité de l'apprenant en intégrant les différentes facettes de ses interactions ? »). En l'occurrence, les outils proposés ont permis d'obtenir, à partir des traces brutes multi-sources et hétérogènes, les séquences perceptivo-gestuelles nécessaires à l'analyse des interactions multi-modales de l'apprenant.

10. Conclusion

Les connaissances perceptuelles et gestuelles sont difficiles à capter dans les EIAH, notamment parce que cela implique l'utilisation de plusieurs périphériques produisant des traces hétérogènes difficiles à traiter dans un objectif d'analyse de l'activité d'apprentissage. Nous avons présenté dans cet article notre méthodologie pour la capture et le traitement de traces perceptuelles et gestuelles produites sur TELEOS, un Système Tutoriel Intelligent dédié à la chirurgie orthopédique percutanée. Le modèle de représentation proposé, implémenté avec l'aide des opérateurs du framework PeTRA, a permis de représenter de manière cohérente des séquences d'interactions où des connaissances perceptivo-gestuelles sont mises en jeu. En effet, l'expérimentation décrite a démontré que les comportements de l'apprenant liés aux perceptions visuelles pouvaient être analysés de manière pertinente à partir des séquences ainsi représentées. Les résultats obtenus ont révélé une influence forte du comportement relatif aux analyses visuelles sur les erreurs commises au cours d'une session de simulation. Ces résultats vont donc dans le sens de l'hypothèse selon laquelle les différentes facettes des interactions apportent des précisions intéressantes à l'activité de l'apprenant.

Néanmoins, l'analyse de l'activité de l'apprenant à partir de son parcours de résolution demande un travail préalable de description des éléments du parcours à identifier. Il s'agit de la description des validations de phase, des retours sur phase et des actions correctives, ou de tout autre comportement significatif que l'on voudrait identifier dans le parcours de résolution d'un exercice par l'apprenant. Ceci constitue une limite pour laquelle nous avons proposé une piste de solution dans le cadre d'une étude exploratoire sur la possibilité de détecter de manière automatique les interactions significatives de l'apprenant (Toussaint *et al.*, 2014). Par ailleurs, les séquences représentées selon le modèle décrit dans cet article ont été exploitées à des fins d'extraction d'éléments de connaissances perceptivo-gestuelles par des algorithmes de fouille de données (Toussaint et Luengo, 2015).

Les solutions proposées, adressant la problématique de la représentation et de l'analyse des interactions perceptivo-gestuelles de l'apprenant, se focalisent sur le diagnostic comportemental de celui-ci. Le diagnostic épistémique, à partir des nouveaux résultats obtenus sur la modélisation des connaissances perceptivo-gestuelles, n'a pas été exploré. La perspective en ce sens consiste à mettre en place une évaluation des résultats obtenus du point de vue du diagnostic épistémique des connaissances de l'apprenant.

BIBLIOGRAPHIE

AGRAWAL, R. et SRIKANT, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules in large databases. Dans *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB '94)* (p. 487-499). Repéré à http://www.rsrikant.com/papers/vldb94_rj.pdf

AMERSHI, S. et CONATI, C. (2007). Unsupervised and supervised machine learning in user modeling for intelligent learning environments. Dans *Proceedings of the 12th international conference on Intelligent User Interfaces* (p. 72-81). ACM Press. Repéré à <https://pdfs.semanticscholar.org/4617/e95caf7516aee8287463391a2ea5cffb74aa.pdf>

BALACHEFF, N. (2013). cKc, a model to reason on learners' conceptions. Dans *Proceedings of the 35th annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME-NA)* (p. 2-15). Repéré à <http://www.pmena.org/pmenaproceedings/PMENA%2035%202013%20Proceedings.pdf>

BECK, J. (2007). Difficulties in inferring student knowledge from observations (and why you should care). Dans *Educational Data Mining: supplementary proceedings of the 13th International Conference of Artificial Intelligence in Education* (p. 21-30).

CEAUX, E., VADCARD, L., DUBOIS, M. et LUENGO V. (2009). Designing a learning environment in percutaneous surgery: models of knowledge, gesture, and learning situations. Communication présentée à *EARLI Symposium Simulation-Based Learning: Analyzing and Fostering Complex Skills in the Context of Medical Education*, Amsterdam, Netherlands.

CHIEU, V. M., LUENGO, V. et VADCARD, L. (2010). Student Modeling in Orthopedic Surgery Training: Exploiting Symbiosis between Temporal Bayesian Networks and Fine-grained Didactical Analysis. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 20(3), 269-301.

CONATI, C. et MERTEN, C. (2007). Eye-tracking for user modeling in exploratory learning environments: an empirical evaluation. *Knowledge Based Systems*, 20(6), 557-574.

D'MELLO, S., OLNEY, A., WILLIAMS, C. et HAYS, P. (2012). Gaze tutor: a gaze-reactive intelligent tutoring system. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(5), 377-398.

FOURNIER-VIGER, P., NKAMBOU, R., MAYERS, A., MEPHU NGUIFO, E. et FAGHIHI, U. (2011). An hybrid expert model to support tutoring services in robotic arm manipulations. Dans *Proceedings of the 10th Mexican International Conference on Artificial Intelligence* (LNCS 7094, p. 478-489). Berlin, Allemagne : Springer.

GUERAUD, V., PERNIN, J.-P., CAGNAT, J.-M. et CORTES G. (1999). Environnements d'apprentissage basés sur la simulation : outils-auteur et expérimentations. *Revue Sciences et Techniques Educatives, numéro spécial « Simulation et formation professionnelle dans l'industrie », 6(1), 95-141.*

JAMBON, F. et LUENGO, V. (2012). Analyse oculométrique « on-line » avec zones d'intérêt dynamiques : application aux environnements d'apprentissage sur simulateur. Dans *Actes de la Conférence Ergonomie et Interaction Homme-Machine (Ergo/IHM 2012), Nouvelles interactions, créativité et usages* (p. 4-11).

LACH, P. (2013). Intelligent tutoring systems measuring student's effort during assessment. Dans *Proceedings of the Canadian Conference on Artificial Intelligence - Advances in Artificial Intelligence* (LNCS 7884, p. 346-351). Berlin, Allemagne : Springer.

LUENGO, V., LARCHER, A. et TONETTI, J. (2011). Design and implementation of a visual and haptic simulator in a platform for a TEL system in percutaneous orthopedic surgery. Dans *Proceedings of the 18th International Conference Medicine Meets Virtual Reality (MMVR 2011)* (p. 324-328).

LUENGO, V., VADCARD, L., TONETTI, J. et DUBOIS, M. (2011). Diagnostic des connaissances et rétroaction épistémique adaptative en chirurgie. *Revue d'Intelligence Artificielle, 25(4), 499-524.*

MANDRAN, N., ORTEGA, M., LUENGO, V. et BOUHINEAU, D. (2015). DOP8_Cycle: Merging both data and analysis operators' life cycles for Technology Enhanced Learning. Dans *Proceedings of the 5th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK '15)* (p. 213-217). New York, NY : ACM.

MATHEWS, M., MITROVIC, A., LIN, B., HOLLAND, J. et CHURCHER, N. (2012). Do Your Eyes Give It Away? Using Eye-Tracking Data to Understand Students' Attitudes towards Open Student Model Representations. Dans *Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (LNCS 7315, p. 422-427). Berlin, Allemagne : Springer.

MULGUND, S. S., ASDIGHA, M., ZACHARIAS, G. L., KRISHNA-KUMAR, K. et DOHME, J. A. (1995). Intelligent tutoring system for simulator-based helicopter flight training. Dans *Proceedings of the Flight Simulation Technologies Conference* (p. 121-129).

PAQUETTE, L., LEBEAU, J. F., BEAULIEU, G. et MAYERS, A. (2012). Automating next-step hints generation using ASTUS. Dans *Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (LNCS 7315, p. 201-211). Berlin, Allemagne : Springer.

REMOLINA, E., RAMACHANDRAN, S., FU, D., STOTTLER, R. et HOWSE, W. R. (2004). Intelligent simulation-based tutor for flight training. Dans *Proceedings of the Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC)* (p. 1-13).

RÍOS, H. V., SOLÍS, A. L., AGUIRRE, E., GUERRERO, L., PEÑA, J. et SANTAMARÍA, A. (2000). Facial expression recognition and modeling for virtual intelligent tutoring systems. Dans *Proceedings of the Mexican International Conference on*

Artificial Intelligence Advances in Artificial Intelligence (MICAI 2000) (LNCS 1793, p. 115-126). Berlin, Allemagne : Springer.

STEICHEN, B., CARENINI, G. et CONATI, C. (2013). User-adaptive information visualization: using eye gaze data to infer visualization tasks and user cognitive abilities. Dans *Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces* (p. 317-328). New York, NY : ACM.

TOUSSAINT, B.-M. (2015). *Apprentissage automatique à partir de traces multi-sources hétérogènes pour la modélisation de connaissances perceptivo-gestuelles* (Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes, France). Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01370337/document> (consulté le 2 février 2016)

TOUSSAINT, B.-M., LUENGO, V. et TONETTI, J. (2014). Towards using similarity measure for automatic detection of significant behaviors from continuous data. Dans *Proceedings of the 7th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2014)* (p. 427-428). Repéré à http://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/posters/103_EDM-2014-Poster.pdf

TOUSSAINT, B.-M., LUENGO, V. et JAMBON, F. (2015). Proposition d'un framework de traitement de traces pour l'analyse de connaissances perceptivo-gestuelles. Le cas de la chirurgie orthopédique percutanée. Dans *Actes de la 7^e édition de la Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2015)* (p. 222-233). Repéré à http://atief.fr/sitesConf/eiah2015/uploads/Actes_EIAH2015.pdf

TOUSSAINT, B.-M., LUENGO, V., JAMBON, F. et TONETTI, J. (2015b). From heterogeneous multisource traces to perceptual-gestural sequences: The PeTra treatment approach. Dans *Proceedings of the 17th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2015)* (LNCS 9112, p. 480-491). Berlin, Allemagne : Springer.

TOUSSAINT, B.-M. et LUENGO, V. (2015). Mining surgery phase-related sequential rules from vertebroplasty simulations traces. Dans *Proceedings of the 15th International Conference on Artificial Intelligence in Medicine (AIME 2015)* (LNCS 9105, p. 32-41). Berlin, Allemagne : Springer.

VADCARD, L., TONETTI, J. et DUBOIS, M. (2011). Transmission de l'expérience en chirurgie orthopédique percutanée. *Travail et Apprentissages*, 6, 77-92.

WEEVERS, I., KUIPERS, J., BRUGMAN, A. O., ZWIERS, J., VAN DIJK, E. et NIJHOLT, A. (2003). The virtual driving instructor, creating awareness in a multi-agent system. Dans *Proceedings of the 16th Canadian Society for Computational Studies of Intelligence Conference on Advances in Artificial Intelligence* (p. 596-602). Berlin, Allemagne : Springer.

DE WINTER, J., DE GROOT, S., DANKELMAN, J., WIERINGA, P., VAN PAASSEN, M. M. et MULDER, M. (2008). Advancing simulation-based driver training: Lessons learned and future perspectives. Dans *Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (p. 459-464). New York, NY : ACM.



Motivation, comportement dans le jeu et expérience de jeu : une relation aux multiples facettes

► **Denise SUTTER WIDMER, Nicolas SZILAS**
(TECFA – FPSE, Université de Genève)

■ **RÉSUMÉ** • Nous avons développé un jeu vidéo pour l'apprentissage de l'algèbre élémentaire, à partir duquel nous étudions comment la motivation à apprendre et à s'engager dans l'activité est liée à la qualité de l'expérience et à l'aisance dans le jeu. Nous avons mis en évidence différents profils d'élèves à partir d'une méthode de classification. Nous montrons que certains joueurs-apprenants sont orientés plutôt jeu, d'autres plutôt contenu, et certains d'entre eux ne sont intéressés de prime abord ni par l'un ni par l'autre. Ces profils correspondent au départ du jeu à des attentes et motivations diverses qui vont en partie déterminer le niveau d'engagement des joueurs-apprenants dans l'activité du jeu et dans l'apprentissage. Il apparaît que si les attentes d'un des profils ne sont pas satisfaites, le niveau d'engagement et les performances dans le jeu vont s'en ressentir négativement.

■ **MOTS-CLÉS** • Jeu sérieux, motivation, engagement, intérêt, *flow*, expérience de jeu.

■ **ABSTRACT** • *We developed a video game in Algebra to investigate how motivation to learn and to engage in a learning activity relates to the experiential qualities reported by learners and in-game behavior. We brought out different profiles of students by using a clustering method. We show that some learners are more oriented towards the game, others are more interested by the learning content, and some are neither interested by one nor by the other. Those profiles correspond to different types of expectations and motivations that will determine the level of engagement in the game activity and in the learning. Unfilled expectation was found to negatively impact engagement and performances in the game.*

■ **KEYWORDS** • *Serious game, motivation, engagement, interest, flow, gameplay experience*

1. Introduction

Les mathématiques et notamment l'algèbre élémentaire posent difficulté à nombre d'adolescents. L'algèbre est abordée dans le cadre de l'enseignement secondaire à un âge où la motivation intrinsèque à apprendre est en général plus faible qu'au niveau primaire. Les adolescents doutent plus volontiers de la valeur du travail scolaire et de leurs compétences à réussir. Leurs besoins - tâches davantage centrées sur l'élève et qui ont du sens pour lui, plus de choix et d'autonomie, moins d'accent sur les notes et les évaluations - sont en décalage avec leur nouveau contexte scolaire (Rathunde et Csikszentmihalyi, 2005). Souvent récalcitrants à entrer dans les apprentissages en raison d'échecs répétés et d'un faible sentiment de compétence, les élèves en difficulté, notamment en mathématiques, sont en général moins motivés à s'investir dans des tâches relevant de cette discipline (Pelgrims, 2009).

Concevoir un environnement motivant et engageant pour l'apprentissage en mathématiques, tel qu'un jeu sérieux, peut se révéler particulièrement pertinent dans de telles circonstances, d'autant plus lorsque l'on s'adresse à une population d'adolescents dont une partie est en butte à des difficultés scolaires. On connaît le succès planétaire des jeux vidéo en termes économiques mais aussi en tant que phénomène culturel (Barr *et al.*, 2007). L'engouement pour les jeux vidéo est lié étroitement au sentiment de plaisir qu'éprouvent les joueurs lorsqu'ils jouent. Les jeux sont considérés comme étant intrinsèquement motivants. Dans cette perspective, un jeu sérieux peut représenter un moyen de récupérer au profit de l'apprentissage la capacité des jeux vidéo à engager fortement les joueurs.

Par jeu sérieux, nous entendons un jeu dont la finalité première n'est pas le simple divertissement mais la formation et l'apprentissage, en référence à la définition de Michael et Chen (2006, p. 17) : « *A serious game is a game in which education (in its various forms) is the primary goal, rather than entertainment* ». Plus spécifiquement, nous nous intéressons aux jeux qui ont été conçus avec l'intention d'amener les apprenants à construire des connaissances en lien avec des objectifs pédagogiques prédéfinis et qui peuvent être évalués.

Les jeux sérieux combinent deux dimensions (jeu et contenu d'apprentissage) pour lesquelles les apprenants-joueurs ne témoignent pas forcément le même intérêt, ni n'accordent la même valeur ; le sentiment de compétence n'est pas nécessairement identique sur les deux plans. Les

défenseurs des jeux sérieux postulent que l'engouement pour les jeux et la capacité d'engagement des jeux vont profiter à l'apprentissage (Malone, 1981 ; Mitchell et Savill-Smith, 2004). Qu'en est-il réellement ? Est-ce que des élèves qui ont un intérêt pour le jeu mais qui se sentent peu compétents par rapport au contenu mathématique feraient preuve d'une plus grande persévérance et fourniraient plus d'efforts dans un jeu sérieux que dans des tâches scolaires traditionnelles ? Et inversement, est-ce qu'un intérêt modéré pour le jeu est nécessairement un frein à l'engagement lorsque le contenu d'apprentissage est apprécié et valorisé ?

L'objectif de cette étude est d'identifier différents profils motivationnels d'élèves établis sur la base de caractéristiques individuelles présentes en amont du jeu. Nous cherchons à déterminer dans quelle mesure ces profils peuvent être mis en relation avec certains comportements du joueur, avec l'expérience de jeu telle qu'elle est rapportée par les apprenants à l'issue du jeu, et avec le sentiment d'avoir acquis de nouvelles connaissances. La démarche suivie est de type exploratoire, nous ne formulons pas d'hypothèses a priori. Par ailleurs, nous n'évaluons pas, dans le cadre de cette contribution, les connaissances mathématiques construites à travers l'utilisation du jeu au regard des différents profils motivationnels et ne menons pas d'analyse didactique des données récoltées durant les sessions de jeu.

Dans une première partie, nous abordons différentes notions théoriques en lien avec notre objectif de recherche. Nous évoquons les questions de motivation, d'engagement et d'immersion dans un jeu ainsi que la notion de flow qui permet d'approcher l'expérience subjective des joueurs. Nous définissons aussi ce que nous entendons, dans cette étude, par la notion de comportement du joueur. A l'issue du cadre théorique sont exposées nos différentes questions de recherche.

Dans une deuxième partie, nous présentons *Algebra Mystery*, un jeu consacré à la résolution d'équations et à la mise en équation, qui a été conçu et développé dans le cadre de cette recherche. Nous introduisons le contenu d'apprentissage et expliquons les fondements de la conception du jeu au niveau mathématique ainsi que les interactions attendues entre les apprenants et le système du jeu en vue de la construction de nouvelles connaissances. Nous décrivons aussi le contexte de l'expérimentation qui a été menée ainsi que les données récoltées qui ont servi à répondre à nos questions de recherche. Nous précisons quels indicateurs ont été retenus pour évaluer le comportement des joueurs. Dans la troisième partie, nous

rendons compte des résultats de nos analyses de données. A travers celles-ci, différents profils de joueurs sont mis en évidence en fonction des motivations et attentes au départ des joueurs apprenants ; ces profils sont caractérisés en fonction de comportements dans le jeu et de la qualité d'expérience du jeu.

Dans la dernière partie, nous discutons nos résultats sur les différents profils à la lumière d'éléments issus de la théorie et de nos questions de recherche. Nous élargissons également la discussion à un niveau plus général pour en tirer des conclusions qui pourraient s'avérer utiles pour la conception d'autres jeux sérieux.

2. Cadre théorique

2.1. Aspects motivationnels

De nombreuses théories de la motivation en contexte scolaire ont été proposées et développées depuis plusieurs décennies. Elles portent sur les facteurs individuels et/ou contextuels qui expliquent les choix et décisions des élèves, leurs intentions d'actions, leur engagement dans une tâche, leur persévérance face aux obstacles rencontrés et les émotions ressenties (Pelgrims et Cèbe, 2010). Dans les recherches en psychologie de l'éducation, la motivation à s'engager dans une tâche est perçue aujourd'hui, non plus comme le simple produit mécanique de facteurs internes et externes à l'individu, mais comme dépendant essentiellement des représentations mentales que l'apprenant s'est forgées dans la situation d'apprentissage (Bourgeois, 2011). Ces représentations, dites motivationnelles, sont considérées comme le fruit d'une interaction entre des facteurs internes, propres à l'individu, et des facteurs externes, liés au contexte et à la situation d'apprentissage.

Parmi les facteurs individuels, les facteurs affectifs, tels que le sentiment de compétence, l'estime de soi, l'intérêt et l'utilité des savoirs scolaires, ont fait l'objet de nombreux travaux, notamment par rapport aux élèves en difficulté d'apprentissage (Pelgrims et Cèbe, 2010). Eccles et Wigfield, dans leur théorie de l'*expectancy-value* (Eccles et Wigfield, 2002), estiment que la valeur accordée à la tâche d'apprentissage et la perception de ses chances de réussite sont les deux prédicteurs les plus importants de la motivation à apprendre chez l'élève. A ces deux composantes viennent s'ajouter chez Viau (Viau, 1998) la contrôlabilité du déroulement et des conséquences de l'activité d'apprentissage. Dans ces différentes approches,

l'engagement d'un sujet dans une activité d'apprentissage est donc déterminé par la représentation qu'il a de la situation et de lui-même.

Dans le domaine des mathématiques, la perception qu'ont les élèves, notamment ceux en difficulté scolaire, de leurs compétences va déterminer en grande partie la formation de leur intention à se lancer dans une activité en mathématiques, ainsi que leur engagement et leur persévérance dans celle-ci (Pelgrims et Cèbe, 2010). Souvent en proie à des croyances de type « impuissance acquise », ces élèves attribuent, en raison d'échecs répétés, leurs réussites et échecs à des causes incontrôlables, dissociées de leurs propres actions (Linnenbrink et Pintrich, 2003). S'intéressant à l'attitude des élèves envers cette discipline, Tapia, Marsh et George (2004) relèvent que la recherche s'est surtout focalisée, pour les apprenants ayant des mauvais résultats en mathématiques, sur l'anxiété éprouvée par ces derniers. L'anxiété engendrerait une attitude d'évitement vis-à-vis des mathématiques avec pour conséquence une moindre maîtrise des connaissances procédurales et stratégiques et donc à terme une moindre compétence dans cette discipline. D'autres facteurs que l'anxiété et le sentiment d'efficacité personnelle des élèves semblent également jouer un rôle dans les performances en mathématiques, comme la valeur attribuée aux mathématiques dans la vie actuelle et dans le futur, le plaisir de faire des mathématiques et de suivre des cours de mathématiques, l'intérêt pour cette discipline ainsi que l'envie de poursuivre des études en mathématiques.

Choisir le jeu comme un environnement d'apprentissage se justifie pour nombre d'auteurs par le plaisir que procure le jeu. Le concept de motivation intrinsèque est au cœur de l'intérêt de l'utilisation des jeux numériques pour l'apprentissage. Le jeu est essentiellement autotélique (Salen et Zimmerman, 2004) : les joueurs jouent pour le plaisir de jouer, pour la stimulation intrinsèque qu'apporte le jeu. Un jeu bien conçu, que l'on estime réussi, est, par définition, intrinsèquement motivant. La motivation intrinsèque est définie comme le fait qu'une activité est engageante parce qu'elle est satisfaisante et gratifiante en tant que telle et non parce qu'une récompense est promise en cas de réussite (Csikszentmihalyi et Nakamura, 1989). Cette notion renvoie à la perception qu'ont les individus d'une activité. Elle implique que l'activité ou la tâche sont perçues comme étant intéressantes et plaisantes (*rewarding*) en soi (Ryan et Deci, 2009). La motivation extrinsèque, en revanche, fait référence à une motivation qui incite à s'engager dans une activité en tant que moyen pour atteindre une fin (Schunk *et al.*, 2014).

La motivation intrinsèque intéresse les chercheurs dans la mesure où l'on suppose que les individus font plus d'effort pour apprendre lorsque l'activité est en soi source de satisfaction, de bien-être et de plaisir. Pour Whitton (2010), cependant, c'est moins l'amusement qui va être déterminant dans la création de conditions d'apprentissage efficaces dans un jeu que l'engagement de l'apprenant. Garris, Ahlers et Driskell (2002) caractérisent le comportement des apprenants-joueurs motivés comme étant plus susceptibles de s'engager dans une tâche, d'y consacrer des efforts; ils persèverent plus longtemps dans des activités que des apprenants moins motivés abandonnent plus facilement. Ils cherchent aussi plus activement à relever des défis et sont plus enclins à poursuivre une tâche initiée. La motivation intrinsèque devrait promouvoir l'apprentissage et la réussite de manière plus importante que la motivation extrinsèque (Schunk *et al.*, 2014).

Dans leur taxonomie des motivations intrinsèques de l'apprentissage, Malone et Lepper (1987) ont mis en avant quatre catégories de motivations individuelles qui caractérisent bon nombre de jeux considérés comme intrinsèquement motivants: le défi, la curiosité, le contrôle, et l'imaginaire. Les catégories « défi » et « contrôle » renvoient à la théorie de l'auto-détermination. Pour ces auteurs, des activités sont intrinsèquement motivantes quand elles défient les compétences des apprenants, présentent l'information et les idées en dissonance avec les connaissances et croyances des élèves, ou de manière surprenante ou incongrue, fournissent aux apprenants un sentiment de contrôle sur leurs résultats et, enfin, les invitent dans un monde imaginaire et fictif à travers des simulations et des jeux qui les placent dans des situations hors du monde réel.

Des éléments interpersonnels comme la compétition, la coopération et la reconnaissance sont également évoqués par Malone et Lepper (1987) comme relevant d'autres formes de motivation intrinsèque. Pour Lazzaro (2004), le plaisir de jouer est non seulement lié au défi (*hard fun*), à la curiosité, à l'imaginaire (*easy fun*) et au partage d'expériences sociales mais aussi à un état émotionnel altéré caractérisé par des émotions positives. Du point de vue de la conception des jeux sérieux, certains chercheurs avancent que c'est par l'intégration intrinsèque du contenu d'apprentissage et du jeu que la motivation intrinsèque suscitée par le jeu est pleinement exploitée (Habgood et Ainsworth, 2011).

2.2. Engagement, immersion et qualité de l'expérience de jeu (flow)

Dans le monde des jeux vidéo, deux approches peuvent être mises en évidence en lien avec l'engagement : l'engagement y est étudié soit en tant qu'état émotionnel et cognitif soit en tant que processus (Molinari *et al.*, 2016). En tant que processus, l'engagement correspond à différents niveaux d'immersion ou d'implication dans le jeu qui peuvent évoluer en fonction des activités et des tâches menées (Brockmyer *et al.*, 2009 ; Jennett *et al.*, 2008). L'expérience psychologique d'engagement n'est donc pas forcément optimale comme l'entend la notion de *flow* mais peut fluctuer dans le temps. L'engagement est alors perçu comme une succession de points d'engagement, de désengagement et de réengagement (O'Brien et Toms, 2008). Pour Brockmyer *et al.* (2009) l'engagement est un indicateur générique de l'implication dans le jeu qui évolue selon une échelle dont les différents échelons sont l'immersion (niveau le plus bas), la présence, le *flow* et l'absorption psychologique (engagement total). Le *flow* est, dans cette approche, une forme particulièrement poussée d'implication dans le jeu.

L'immersion dans les jeux et l'engagement sont des notions étroitement liées. L'immersion fait partie de l'expérience des joueurs et résulte de l'interaction avec l'environnement du jeu ; elle fait référence au degré d'implication dans le jeu. Brown et Cairns (2004), sur la base d'entretiens avec des joueurs, ont dégagé trois niveaux d'immersion et ont identifié un certain nombre de barrières (par ex. les préférences des joueurs, les caractéristiques du jeu) qui peuvent limiter le degré d'immersion dans un environnement de jeu. Le premier niveau d'immersion correspond à l'engagement ; il est une condition préliminaire à toute forme d'immersion. Pour qu'il y ait engagement, le joueur doit être prêt à investir du temps, de l'effort et de l'attention pour apprendre le jeu et pour parvenir à maîtriser les principales fonctionnalités du jeu. Cela présuppose au départ qu'il apprécie le type de jeu proposé ou du moins qu'il est intéressé à s'y investir si celui-ci ne lui est pas familier.

Le deuxième niveau d'immersion est intitulé engouement (*engrossment*). Il est étroitement lié à la conception du jeu ; il se produit lorsque les émotions du joueur sont influencées par le jeu en raison de certaines de ses caractéristiques (scénario, graphisme, tâches captivantes). Les joueurs deviennent moins conscients d'eux-mêmes et de leur environnement. Au troisième niveau, le joueur est en totale immersion : il

est complètement présent dans le jeu, se sent détaché de la réalité à tel point que seul le jeu est alors important à ses yeux. Le jeu mobilise toutes ses ressources attentionnelles et ses émotions sont directement affectées par celui-ci. Pour que ce niveau d'immersion puisse se réaliser, le jeu doit être conçu de manière à ce que le joueur puisse s'identifier avec les situations du jeu (par exemple dans le cadre des jeux de rôle) et que les éléments du jeu participent à la création d'une atmosphère spécifique. Ce dernier niveau d'immersion est rarement atteint.

Pour Gunter, Kenny et Vick (2008), l'apprenant-joueur est pleinement immergé dans un jeu sérieux lorsqu'il est complètement engagé et concentré sur les objectifs d'apprentissage et les buts du jeu. Un apprenant-joueur engagé est actif, fournit un effort mental, fait preuve d'attention, de persistance, montre de l'intérêt, vit émotionnellement le jeu, s'investit psychologiquement et intellectuellement. Il ne procède pas systématiquement par essai/erreur et régule ses actions en fonction des feedbacks fournis par le milieu du jeu. L'engagement généré par une immersion totale est à la fois cognitif, physique, psychologique et émotionnel, et conduit ainsi à l'émergence d'un processus cognitif élaboré propice à l'apprentissage.

Dans la perspective de Jennett *et al.* (2008), l'immersion, qui n'est pas définie selon différents niveaux, requiert également de la concentration, mais aussi un sentiment de défi et de contrôle sur le jeu, une implication émotionnelle et une dissociation par rapport au monde environnant. La dissociation temporelle et la perte de conscience de son environnement sont considérées comme des indicateurs d'un engagement élevé. L'immersion n'implique pas forcément le sentiment de présence : on peut se sentir immergé dans un jeu comme *Tetris* sans avoir le sentiment d'être dans un monde constitué de blocs qui tombent. L'immersion a un lien évident avec la notion de *flow* (*cf.* chapitre 3.4). Mais, selon Jennett *et al.* (2008), l'immersion n'est pas forcément une expérience psychologique optimale, telle qu'elle est définie dans la théorie du *flow* (Csikszentmihalyi, 1990), bien qu'elle puisse en être un prélude.

La théorie du *flow* est une manière d'appréhender la qualité d'expérience de jeu à travers l'expérience subjective du joueur. Le *flow*, ou l'expérience optimale, fait référence au plaisir qu'éprouve un joueur à s'engager dans une activité de jeu et à y rester (Salen *et al.*, 2009). Il se caractérise par un état psychologique et émotionnel où prédominent les sentiments de joie, d'accomplissement, de compétence. L'expérience

optimale n'est pas propre au monde du jeu mais la présence de différents éléments propices à l'émergence du *flow* (buts clairs, feedbacks immédiats, niveau de difficulté adapté aux compétences des individus et environnement autorisant la conscience aigüe des actions à entreprendre) peut contribuer à en faire des environnements de jeu et d'apprentissage engageants pour les apprenants.

Certains éléments permettent d'identifier l'état de *flow*: une attention entièrement fixée sur l'action en cours, l'exclusion de la conscience des distractions, l'effacement temporaire de la conscience de soi et l'altération de la perception du temps. Dans cet état, caractérisé par une forte immersion dans l'activité en cours, les joueurs se trouvent profondément engagés dans le jeu mais sans que cela engendre d'effort conscient (*deep but effortless involvement*). Dans la théorie du *flow*, l'immersion fait donc référence à l'implication extrême du joueur durant le temps du jeu mais aussi aux sentiments très plaisants engendrés par cette situation. Elle a pour effet positif de contribuer à la persévérance du joueur/apprenant dans le jeu malgré les obstacles rencontrés tant que ceux-ci n'apparaissent pas totalement insurmontables. Enfin, le sentiment de contrôle sur ses actions et sur l'interaction avec l'environnement dans lequel l'apprenant se trouve, le besoin de savoir que ses compétences sont adaptées au medium et que celui-ci répond à ses actions, jouent un rôle dans l'émergence du *flow* dans un environnement d'apprentissage (Esteban-Millat *et al.*, 2013).

Plusieurs auteurs se sont interrogés sur l'effet d'un état de *flow* intense sur l'acquisition d'un savoir (Egenfeldt-Nielsen, 2005 ; Habgood, 2007). En effet, le développement des compétences métacognitives que l'on considère comme essentielles pour un apprentissage efficace (Bransford *et al.*, 2000), est susceptible de souffrir de l'effet d'immersion des jeux en empêchant la prise de recul nécessaire à l'émergence d'une réflexion sur les apprentissages en cours, et ce d'autant plus lorsque les éléments d'apprentissage ne sont pas dissociés de l'expérience de jeu (Szilas et Sutter Widmer, 2009).

L'engagement dans un jeu sérieux peut donc être analysé à travers deux approches: l'examen du comportement de l'apprenant-joueur durant le jeu à travers l'analyse de ses interactions avec le logiciel; l'expression par l'apprenant-joueur de son expérience de jeu. Nous avons cherché à combiner les deux approches.

2.3. Questions de recherche

Compte tenu des éléments théoriques qui précèdent, nous chercherons à mettre en évidence différents profils motivationnels d'élèves, construits à partir de la valeur accordée au contenu mathématique, au sentiment de compétence de l'apprenant et à son intérêt pour les mathématiques et pour l'activité de jeu proposée.

Notre première question de recherche porte sur le lien entre la qualité de l'expérience du jeu telle qu'elle est rapportée par les apprenants/joueurs après l'utilisation d'un jeu en algèbre élémentaire et le profil motivationnel. Notre deuxième question de recherche a pour objectif de déterminer si, dans le cadre d'un jeu en mathématique, certains profils motivationnels sont associés à un engagement plus marqué des apprenants et à une plus forte immersion dans le jeu. Notre troisième question de recherche s'interroge sur la relation entre l'aisance, *versus* difficulté, des apprenants dans le jeu, et leur profil motivationnel.

3. Méthode

3.1. Participants

Les participants étaient des élèves âgés de 13-15 ans, au nombre de 94, issus de 7 classes différentes d'un établissement de l'enseignement secondaire genevois (Suisse), situé dans un quartier où règne une certaine mixité sociale. Les filles, au total de 52, étaient légèrement surreprésentées par rapport aux garçons (42). Les élèves provenaient aussi bien de sections dites pré-gymnasiales (« latines », « scientifiques » ou « langues modernes »), que de sections non pré-gymnasiales, regroupant des élèves soit un peu plus faibles (section Langues vivantes et communication) voire nettement plus faibles (section Communication et technologie). Ceux des sections les plus fortes (57 au total) étaient en 10^e année tandis que les élèves des sections dites moyennes (24 élèves) et faibles (13 élèves) étaient déjà en 11^e, autrement dit en dernière année de la scolarité obligatoire. Selon les enseignants consultés, le niveau de difficulté des problèmes mathématiques abordés dans le jeu était adapté aussi bien à des élèves de 10^e en section pré-gymnasiale qui se destinent à des études supérieures, qu'à des élèves de 11^e engagés dans des sections moins fortes. Pour les élèves de 10^e année la mise en équation de problèmes constituait un chapitre nouveau dans le champ des équations alors que les élèves de 11^{ème} avaient déjà abordé la mise en équation de problèmes l'année précédente avec plus ou moins de bonheur.

3.2. Matériel

Le jeu vidéo *Algebra Mystery* met en scène une intrigue policière dont le dénouement passe par la résolution de problèmes algébriques. Le joueur joue le rôle d'un expert scientifique ; il aide la police à résoudre des énigmes policières en apportant son expertise en mathématiques.

Dans la première partie du jeu, le joueur doit franchir trois portes pour accéder à son laboratoire ; chacune de ces portes s'ouvre grâce à un code secret que le joueur découvre grâce à la résolution d'une équation. Les équations à résoudre, générées automatiquement par le système, doivent être simplifiées en appliquant les règles d'équivalence et leur complexité augmente à chaque porte (équations de type $x + a = b$, puis $ax = b$ et finalement $ax + b = c$). Les règles d'équivalence assurent la conservation de l'égalité par addition, soustraction et division (nombre non nul dans les deux derniers cas).



Équation équilibrée



Équation « en déséquilibre »
(non respect de l'équivalence)

**Figure 1 • Représentation de la mécanique
du concept d'équivalence**

Pour aider les élèves à construire la notion d'équivalence lors de la phase de résolution d'une équation, celle-ci est représentée visuellement par un jeu d'équilibre entre les deux membres d'une équation (figure 1). Une bonne compréhension du concept d'équivalence est, en effet, essentielle pour réduire une équation. Nombre d'élèves remplacent rapidement les règles de transformation (addition/soustraction du même nombre à chaque membre de l'équation) en règles plus économiques (passage d'un membre de l'autre côté de l'équation en changeant de signe) qui sont souvent sources d'erreurs si le concept d'équivalence n'a pas vraiment été assimilé. Le risque en appliquant les procédures mathéma-

tiques sans comprendre les règles qui les sous-tendent est qu'elles perdent leur sens car elles sont alors dissociées des connaissances conceptuelles (Mayer, 2007).

La métaphore visuelle proposée s'apparente au principe de la balance, souvent utilisée dans les manuels scolaires de mathématiques pour introduire la méthode des équations équivalentes. Lorsque le déséquilibre apparaît, le signe « = » en gris se transforme en signe « ≠ », en rouge et reste tel quel tant que le déséquilibre est maintenu. La visualisation de l'équivalence, ou absence d'équivalence, à travers le recours à des couleurs distinctes, attire l'attention de l'élève sur la signification spécifique du signe « = » dans une équation, qui est différent du signe « = » annonçant un résultat ($5 + 4 = 9$). Le signe « = » traduit ici une relation d'équivalence. La représentation choisie a pour but non seulement de faire appliquer la règle « ce qui est fait d'un côté, doit être fait de l'autre côté » mais aussi d'aider l'apprenant à réaliser que l'égalité d'une équation lors de sa simplification est conservée tant que les mêmes opérations sont effectuées de part et d'autre de l'équation.

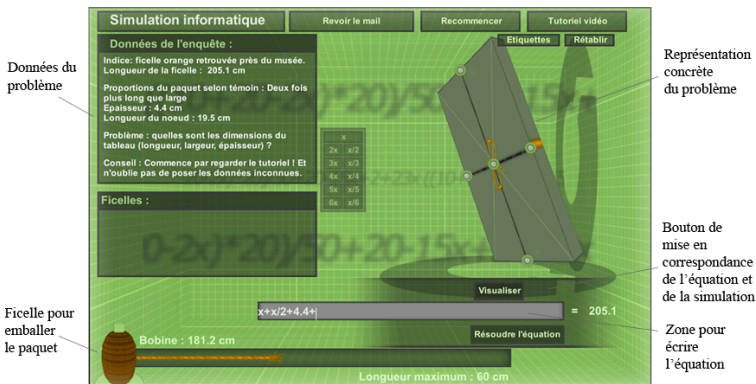


Figure 2 • Mise en équation d'un problème à l'aide d'une simulation 3D

Dans la deuxième partie du jeu, qui constitue le cœur du jeu, le joueur doit résoudre, à l'aide d'équations, des problèmes mathématiques qui vont lui permettre d'éclaircir une enquête sur un vol de tableaux. Il s'avère que seules les ficelles servant à emballer et transporter les tableaux ont été retrouvées par la police. Afin de pouvoir identifier les trois tableaux volés, les apprenants doivent calculer les dimensions respectives

de ces derniers à partir de données fournies sur les ficelles récupérées et d'informations transmises par des témoins.

Les joueurs commencent par ficeler un paquet 3D (simulation) avec des bouts de ficelle « connues » et « inconnues », qu'ils découpent conformément aux données de l'énigme. La simulation 3D (figure 2), qui donne une représentation concrète du problème, a pour objectif d'aider les élèves à poser leur équation qu'ils peuvent saisir en parallèle au ficelage ou une fois le paquet complètement ficelé dans une zone dédiée à l'écriture de l'équation. Elle devrait faciliter le passage entre les deux registres de représentation que sont l'énoncé d'un problème, qui relève du langage naturel, et une écriture algébrique, par définition abstraite. La conversion dans un nouveau registre (texte vers l'équation) est une opération cognitive lourde pour les apprenants, d'autant plus difficile à effectuer lorsque les deux registres ont des unités de représentations fort éloignées l'une de l'autre (Duval, 1993), (Duval, 2002). La représentation concrète, qui constitue un passage obligé entre les deux autres représentations, sert à réduire la non congruence entre les unités respectives des deux autres représentations (texte et équation) et à soutenir les opérations mentales requises pour traduire un problème (langage textuel) en équation (écriture algébrique) selon le principe de supplantation (Salomon, 1972), (Vogel *et al.*, 2007). De par sa nature visuelle, concrète et manipulable, la simulation devrait contribuer à la construction d'une représentation mentale interne du problème.

La construction des concepts d'inconnue et de variables se fait donc à travers leur représentation dans différents registres sémiotiques. Le ficelage du paquet peut être défini comme un jeu de correspondances entre différents registres sémiotiques de représentations. Une fois le paquet ficelé, ou en cours de ficelage, l'apprenant saisit l'équation correspondante dans la zone dédiée à cet effet. Une fois l'équation écrite et le paquet ficelé correctement, l'apprenant peut résoudre l'équation. Les apprenants ayant souvent beaucoup de peine à faire le lien entre deux représentations (Ainsworth, 1999), ils ont à leur disposition un bouton de mise en correspondance des deux représentations (bouton Visualiser) qui leur signale par des indices visuels de couleur différente les éléments correspondants (les données s'affichent en vert) ou non correspondants (en orange) dans l'équation et sur le paquet.

Trois problèmes similaires sont soumis aux apprenants pour les amener à comprendre et à exercer la mise en équation (voir exemple figure 3).



Figure 3 • Données du problème (exemple type)

L'interface est commune aux trois problèmes, mais certains paramètres changent d'un problème à l'autre comme le choix des valeurs inconnues et les relations entre les grandeurs. Les données sont puisées aléatoirement dans une base de données pour chacun des trois problèmes que doit résoudre l'apprenant. Les valeurs sont suffisamment complexes (nombres décimaux) pour que les élèves ne soient pas tentés de calculer la solution de tête par tâtonnement ou par réversion des opérations. Le choix des variables didactiques est essentiel pour rendre le recours à l'algèbre nécessaire et contribuer à donner du sens à son utilisation.

Du point de vue de la conception d'un jeu sérieux, *Algebra Mystery* a été conçu selon des principes d'intégration intrinsèque du contenu pédagogique et des éléments de jeu (Habgood, 2007), (Szilas et Sutter Widmer, 2009). La progression dans le jeu est ici indissociable de la progression dans les apprentissages, la résolution des problèmes mathématiques étant intégrée dans la fiction et la mécanique du jeu.

3.3. Procédure

Les élèves ont d'abord dû répondre en classe à un questionnaire créé pour l'occasion comportant des items sur le sentiment de compétence en mathématiques, sur la valeur accordée à cette discipline et au jeu dans une perspective d'apprentissage, ainsi que sur leur intérêt pour l'activité proposée. Lors d'une leçon suivante en mathématiques, en salle informatique, les élèves se sont engagés dans une session de jeu d'une

durée de 60 minutes, au cours de laquelle ils devaient d'abord résoudre trois équations de difficulté croissante (franchissement des portes) avant de mettre en équation trois problèmes d'ordre géométrique relativement similaires (énigmes des tableaux). Suite au jeu, les participants ont rempli un second questionnaire sur leur perception de l'activité (satisfaction, sentiment d'avoir appris et quelques indicateurs du *flow*).

Nous précisons que cette étude fait partie d'un projet de recherche plus large, comportant un groupe de contrôle, au cours duquel les compétences des élèves en algèbre furent testées avant et après la session de jeu et où ils furent alloués à deux conditions expérimentales différentes qui ne seront pas détaillées ici (Sutter Widmer, 2017).

3.4. Variables et données

En amont de l'expérience de jeu, les aspects motivationnels des apprenants ont été cernés par neuf items, portant respectivement sur le sentiment de compétence en mathématiques (par ex. « Je suis capable de résoudre des problèmes de maths sans trop de difficultés »), le plaisir éprouvé à faire des mathématiques à l'école (par ex. « J'ai en général du plaisir à faire des maths à l'école »), la valeur accordée aux mathématiques (par ex. « Les maths c'est sans intérêt et ennuyeux ») et aux jeux mathématiques (par ex. « Les jeux mathématiques aident à apprendre les maths »), ainsi que sur leur intérêt pour l'activité proposée (par ex. « Je suis content de faire ce jeu »). Les réponses étaient données selon une échelle de Lickert à 5 points. Plusieurs de ces items proviennent de l'instrument présenté dans (Tapia *et al.*, 2004) pour mesurer l'attitude des élèves envers les mathématiques. Ces auteurs prennent en compte des items qui renvoient au sentiment de compétence, à l'anxiété face aux mathématiques, à la valeur attribuée à cette discipline, au plaisir éprouvé à faire des mathématiques et à la motivation.

Le questionnaire post-jeu, conçu également en utilisant une échelle de Lickert à 5 points, fut distribué immédiatement après la session du jeu. Il compte 21 items qui portent sur des indicateurs d'un état de *flow* (par ex. « Pendant le jeu, j'ai pensé à d'autres choses sans rapport au jeu »), le sentiment de plaisir ou d'ennui éprouvés durant l'activité (« Je me suis ennuyé pendant le jeu »), la prise en main du jeu (par ex. « J'ai trouvé que le jeu était facile à utiliser »), ainsi que sur l'appréciation d'une telle activité (par ex. « J'aimerais pouvoir faire plus souvent des maths de cette manière-là ») et le sentiment d'avoir appris (par ex. « Je comprends mieux maintenant comment écrire un problème sous forme d'équation »).

De nombreuses données se rapportant à l'interaction entre le système et les utilisateurs ont, par ailleurs, été relevées lors des sessions de jeu et un certain nombre de séquences ont été enregistrées par capture d'écran vidéo. Dans le cadre de cette contribution, nous nous intéressons en particulier aux actions des joueurs qui dénotent une aisance ou au contraire des difficultés dans le jeu. L'aisance dans le jeu est mesurée par la rapidité à traverser les trois portes de la première partie du jeu et par le nombre de problèmes résolus dans la deuxième partie du jeu. A ce sujet, précisons que tous les élèves ont réussi à franchir les trois portes mais seule une minorité est parvenue à résoudre les trois problèmes à mettre en équation. L'éjection des portes, qui se produit lorsqu'un apprenant dépasse le temps imparti pour résoudre l'équation, a également été prise en considération. Les actions dénotant des difficultés ont été cernées notamment par l'utilisation répétée du bouton « recommencer » qui, selon la partie du jeu, va générer une nouvelle équation ou un nouveau problème de ficelle similaire alors que l'activité en cours n'est pas encore terminée, et par le recours régulier au bouton « annuler » qui autorise, lors de la simplification d'une équation, de revenir à l'état précédant la dernière action effectuée. L'examen de captures vidéo de sessions de jeu a montré que les apprenants qui recourent plus d'une fois au bouton « recommencer » rencontrent le plus souvent de sérieuses difficultés dans le jeu qu'ils ont de la peine à surmonter.

**Tableau 1 • Analyse en composantes principales
sur les aspects motivationnels (après rotation varimax
avec normalisation Kaiser)**

Composantes pour les déterminants motivationnels (avant le jeu)		
Plaisir à faire des maths (32 %)	Intérêt pour le jeu (19 %)	Échec et math (13 %)
Aime faire des exercices sur les équations (.86)	Content de faire le jeu (.76)	Sentiment de compétence pour résoudre des problèmes de math (-.77)
Plaisir à faire des maths à l'école (.73)	Curieux de connaître le jeu (.73)	Sentiment de nervosité en faisant des maths (.74)
Maths : sans intérêt et ennuyeux (-.68)	Utilité des jeux mathématiques pour les maths (.71)	Le jeu à venir perçu en tant que défi (.55)

4. Résultats

4.1. Facteurs motivationnels issus de l'ACP

Une double analyse en composantes principales (ACP) sur les données des questionnaires passés avant le jeu (déterminants motivationnels) et après le jeu (qualité d'expérience du jeu) a permis de réduire le nombre d'items, en mettant en évidence des structures de corrélations.

Trois facteurs sont mis en évidence dans l'ACP sur les aspects motivationnels (tableau 1). Ils expliquent 64 % de la variance totale. Un premier axe concentre les items qui se réfèrent à une attitude marquée avant tout par le *Plaisir à faire des maths*. Un deuxième axe regroupe les items corrélés fortement autour de *l'Intérêt pour le jeu* à venir, donc pour l'activité proposée, mais se réfère aussi à la valeur attribuée aux jeux mathématiques en général. Le troisième axe, que nous avons intitulé *Échec et math*, se réfère au manque de sentiment de compétence des apprenants en mathématique, au sentiment d'anxiété et à la perception de la situation d'apprentissage comme un défi à relever (obstacle à surmonter) sans qu'y soit associé un sentiment de plaisir.

Cinq facteurs rendant compte de la qualité de l'expérience de jeu (tableau 2) expliquent 67 % de la variance totale. Le premier facteur, que nous avons nommé le *Sentiment d'avoir appris en s'amusant*, associe le sentiment d'avoir acquis de nouvelles connaissances en algèbre élémentaire avec le plaisir d'avoir pu faire des mathématiques à travers un jeu vidéo. Les items conjuguant l'aspect « plaisir » et le « sentiment d'avoir appris » y sont fortement corrélés. Le deuxième facteur, *Forte immersion* dans le jeu, met l'accent sur le sentiment de s'être senti immergé dans le jeu au point de faire abstraction de son environnement immédiat. Les items qui lui sont associés reflètent en partie l'expérience du flow (distorsion du temps, oubli du lieu, sentiment d'être pris par le jeu, absence d'ennui). *L'Effort mental soutenu* se rapporte à des variables signalant que les ressources cognitives des apprenants étaient très fortement sollicitées durant le jeu. Le *Sentiment d'aisance* est un facteur relatif au sentiment de maîtrise de l'environnement d'apprentissage et de jeu par les élèves. Enfin, le cinquième facteur, *Désorientation*, désigne le sentiment de ne pas avoir toujours su quoi faire pour avancer dans le jeu.

A partir des différentes composantes mises en évidence par l'ACP, des corrélations ont été effectuées entre les facteurs « motivationnels », mesurés avant l'entrée dans l'activité et, d'une part, les variables de

comportement et de progression dans le jeu et, d'autre part, les facteurs relatifs à la qualité d'expérience de jeu et au sentiment d'avoir appris de nouvelles notions en lien avec l'algèbre élémentaire.

Tableau 2 • Analyse en composantes principales sur l'expérience de jeu (après rotation varimax avec normalisation Kaiser)

Composantes pour la qualité d'expérience du jeu (après le jeu)				
Sentiment d'avoir appris en s'amusant (38 %)	Forte immersion (flow) (9 %)	Effort mental soutenu (8 %)	Sentiment d'aisance (7 %)	Désorientation (5 %)
Jeu utile pour l'apprentissage de concepts mathématiques (.87)	Temps passé sans en avoir conscience (.65)	Quantité d'effort mis dans le jeu (.74)	Capacités suffisantes pour réussir le jeu (.78)	Frustration (.40)
Meilleure compréhension de la mise en équation (.84)	Activité mathématique ennuyante (-.67)	Concentration durant le jeu (.70)	Sentiment de s'être bien débrouillé dans le jeu (.70)	Facilité d'utilisation du jeu (-.39)
Intérêt de l'activité pour les maths (.83)	Exercice plus que jeu (-.66)	Pensées distractives (-.58)		Sentiment d'être perdu (.80)
Sentiment d'avoir appris (équations) (.81)	Ennui pendant le jeu (-.53)			
Envie de refaire des maths en jouant (.78)	Sentiment d'être pris par le jeu (.50)			
Activité appréciée (.71)	Oubli du lieu (.51)			
Activité mathématique amusante (.66)				
Activité mathématique frustrante (-.61)				

Le premier facteur motivationnel, *Plaisir à faire des mathématiques*, est corrélé positivement avec le facteur *Sentiment d'aisance dans le jeu*, $r = .24$, $p = .018$, et négativement avec le facteur *Désorientation*, $r = -.26$, $p = .010$. Aucune corrélation significative ne peut être relevée entre le *Plaisir à faire des mathématiques* et les facteurs *Sentiment d'avoir appris en s'amusant*, *Forte immersion dans le jeu* ou *Effort mental soutenu*. Concernant les interactions du joueur avec le système de jeu, on constate que le facteur *Plaisir à faire des mathématiques* est corrélé négativement avec des variables de comportements révélant des temps d'hésitation ou de tâtonnement durant le jeu, qu'il s'agisse de l'activation du bouton « annuler » une dernière action, $r = -.29$, $p = .020$, ou du nombre de fois où le joueur est éjecté d'une porte en raison du dépassement du temps imparti pour résoudre l'équation, $r = -.38$, $p < .001$. Enfin, par rapport à la

progression dans le jeu, le facteur *Plaisir à faire des mathématiques* est lié à un temps de jeu plus court lors du passage des trois portes, $r = .42$, $p < .001$, et à un plus grand nombre de problèmes résolus dans la deuxième partie du jeu, $r = .33$, $p = .004$.

Le deuxième facteur motivationnel, *Échec et math*, qui regroupe les variables dénotant un faible sentiment de compétence en mathématique, est associé au facteur *Sentiment d'avoir appris en s'amusant*, $r = .27$, $p = .008$, qui est lui-même corrélé avec le nombre de problèmes résolus dans la deuxième partie du jeu, $r = .26$, $p = .023$. Si on se penche de manière détaillée sur les différents items composant le facteur *Sentiment d'avoir appris en s'amusant*, on constate que le facteur *Échec et math* est corrélé avec les différents items constituant le volet « apprentissage » mais pas avec ceux composant le volet « amusement ». Aucune relation n'apparaît entre le facteur *Échec et math* et les facteurs *Forte immersion dans le jeu*, *Effort mental soutenu* et *Désorientation*, ni entre le facteur *Échec et math* et les différentes variables de comportement ou de progression dans le jeu.

Le troisième facteur motivationnel, *Intérêt pour le jeu* est corrélé, du point de vue de la qualité de l'expérience de jeu, avec le facteur *Forte immersion dans le jeu*, $r = .24$, $p = .020$, caractérisé notamment par une forte immersion dans l'univers du jeu au point d'avoir le sentiment de s'être extrait du lieu de la classe et de ne plus avoir eu conscience du temps qui passait. Il est marginalement corrélé, $r = .20$, $p = .055$, au facteur *Sentiment d'avoir appris en s'amusant*, car il n'est associé qu'avec les items faisant référence à l'appréciation de l'activité et non pas à ceux attachés au sentiment d'avoir acquis de nouvelles connaissances. Par contre, aucune relation ne peut être établie entre l'*Intérêt pour le jeu* et les facteurs *Effort mental soutenu* et *Désorientation*. De même, aucune variable de comportement, qu'il s'agisse d'actions reflétant de l'indécision ou une progression rapide à travers les différents problèmes qui constituent le cœur du jeu, ne peut être mise en relation avec le plaisir de se lancer dans l'activité proposée.

4.2. Profils motivationnels d'élèves

Suite à l'ACP, nous avons procédé à une classification ascendante hiérarchique (CAH) en recourant à la méthode d'agrégation Ward pour mettre en évidence des profils d'élèves en fonction des scores factoriels issus de l'ACP sur les déterminants motivationnels. La méthode de Ward permet de regrouper au sein d'une même classe les individus qui se

ressemblent plus et de maximiser l'inertie inter-classe afin d'obtenir des classes les plus homogènes possibles.

La CAH a produit quatre profils motivationnels d'élèves. Chacune des classes est structurée par la moyenne des scores factoriels significativement différents de la moyenne des élèves. Le premier groupe ($n=36$), majoritaire, est constitué d'élèves qui n'ont pas de plaisir à faire des mathématiques, ont un sentiment moyen de compétence, mais sont curieux de connaître le jeu. Nous avons dénommé ce groupe « **Les Joueurs non matheux** ». Le deuxième groupe ($n=25$), intitulé « **Les Mathématiciens curieux** », se caractérise par des élèves qui aiment les mathématiques bien qu'ils se disent moyennement compétents, et qui sont curieux de connaître le jeu. Le troisième groupe ($n=12$), qui compte le moins de sujets, regroupe les élèves qui se sentent très peu sûrs d'eux-mêmes en mathématique, mais qui ont malgré tout une attitude assez favorable envers cette discipline scolaire, et sont moyennement intéressés par le jeu : ce sont « **les Peu Confiants** ». Enfin, les élèves du quatrième groupe ($n=21$) aiment moyennement les mathématiques et se sentent moyennement compétents dans cette branche ; ils ne sont pas du tout curieux de connaître le jeu. Nous les avons dénommés « **les Inintéressés** ».

Tableau 3 • Moyenne annuelle en mathématique et score au pré-test selon les profils d'élèves (moyennes et écart-types)

	Moyenne annuelle en Mathématique (notée de 1 à 6)		Score au pré-test (max. : 100 pts)	
	Moyenne	Σ	Moyenne	σ
Les <i>Joueurs non matheux</i> (n = 36)	4.3	.64	35.2	16.9
Les <i>Mathématiciens curieux</i> (n = 25)	4.7	.71	52.3	18.6
Les <i>Peu Confiants</i> (n = 12)	3.9	.40	36.9	16.1
Les <i>Inintéressés</i> (n = 21)	4.6	.56	47.3	14.5

Nous avons d'abord regardé si chacun des profils est cohérent avec la moyenne annuelle en mathématique et le score au pré-test algébrique, en procédant à des analyses de variance (tableau 3). Les différences de moyennes entre les quatre groupes d'élèves sont significatives aussi bien pour la moyenne annuelle en mathématique, [$F(3,89) = 4.66, p = .005, \eta^2 = .136$], que pour le score au pré-test algébrique, [$F(3,90) = 6.11, p = .001, \eta^2 = .169$].

Le groupe des *Mathématiciens curieux* a une moyenne annuelle en mathématique supérieure à celles des autres groupes, qui se distingue notamment (.77, $p=.011$) selon les tests post-hoc de Scheffé, de celle du groupe des *Peu Confiants*. Ces derniers sont les seuls à avoir une moyenne annuelle en mathématique qui est en deçà de celle exigée par le système scolaire suisse (moyenne fixée à 4). Les *Mathématiciens curieux* ont également un score au pré-test algébrique supérieur à celui des trois autres groupes. Cette différence est significative (17.07, $p=0.03$) par rapport aux *Joueurs non matheux* et quasi significative (15.35, $p=0.87$) par rapport aux *Peu Confiants*, sachant que la taille de ce groupe est comparativement plus petite ($n=12$).

Les élèves se différencient-ils, selon leur profil motivationnel de départ, du point de vue de la qualité de l'expérience de jeu? Les conditions d'homogénéité des variances n'étant pas respectées pour tous les scores factoriels, des tests non paramétriques ont été réalisés pour les facteurs concernés. Le test de Kruskal-Wallis nous indique que l'aisance dans le jeu ($\eta^2=9.14$, $p=.027$) et le sentiment de désorientation et frustration ($\eta^2=8.32$, $p=.040$) diffèrent significativement selon le profil des élèves. Les *Mathématiciens curieux* se sont sentis les plus à l'aise dans le jeu avec un rang moyen de 57, tandis que les *Joueurs non matheux*, dont le rang moyen est de 38, se sont sentis les moins à l'aise (tableau 4). Les *Peu Confiants*, avec un rang moyen de 41, se sont également sentis, mais dans une moindre mesure, peu à l'aise dans le jeu. En cohérence avec le résultat précédent, ce sont les *Mathématiciens curieux* qui se sont sentis les moins désorientés en cours de jeu (rang moyen de 35 pour le facteur *Désorientation*) alors que les *Peu Confiants* sont les élèves qui ont le plus éprouvé le sentiment d'être perdus (rang moyen = 58).

Pour le facteur *Sentiment d'avoir appris en s'amusant*, les résultats globaux sont proches de la significativité [$F(3,90) = 2.57$, $p=.059$, $\eta^2=.079$], sans doute en raison de la différence de taille du groupe des *Peu Confiants* par rapport aux autres groupes. Le score moyen des *Peu Confiants* est nettement supérieur à celui des autres profils d'élèves (tableau 4). Si l'on prend séparément les items du facteur *Sentiment d'avoir appris en s'amusant*, on relèvera, sur la base de tests de Kruskal-Wallis, des différences significatives entre les profils d'élèves pour l'appréciation de l'activité ($p=.004$), le sentiment que faire des maths de cette manière-là est intéressant ($p=.001$) et amusant ($p=.002$). Sur tous ces items, les *Peu Confiants* se distinguent significativement des *Inintéressés*: ils ont en moyenne des réponses positives pour chacun des ces items en

comparaison avec les *Inintéressés* qui ont un avis plutôt négatif sur l'ensemble des questions relatives à l'appréciation de l'activité. Les différents profils d'élèves se distinguent aussi entre eux par rapport à l'impression de mieux comprendre certains concepts mathématiques à la suite du jeu [$F(3,90) = 4.57, p = .043, \eta^2 = .086$], les *Peu Confiants* partageant le plus ce sentiment, tandis que les *Inintéressés* étaient plutôt en désaccord avec ce point de vue.

Tableau 4 • Qualité de l'expérience de jeu selon les profils d'élèves (moyennes et écart-types)

Scores factoriels [- 2.8, 2.8]	Les Joueurs non matheux	Les Mathématiciens curieux	Les Peu Confiants	Les Inintéressés
	m (σ)	m (σ)	m (σ)	m (σ)
	Sentiment d'avoir appris en s'amusant	.08 (1.06)	.08 (.84)	.41 (.68)
Forte immersion (<i>flow</i>)	-.01 (.88)	.26 (.92)	.40 (.79)	-.53 (.26)
Sentiment d'aisance	-.32 (.67)	.35 (1.07)	-.18 (1.06)	.25 (.26)
Effort mental soutenu	.02 (1.02)	.04 (.91)	-.03 (1.08)	-.07 (.24)
Désorientation	.26 (.84)	-.44 (.92)	.46 (.81)	-.19 (.27)

Aucun des profils d'élèves n'est associé à une forte immersion dans le jeu bien que deux groupes d'élèves (les *Joueurs non matheux* et les *Mathématiciens curieux*) se caractérisent au départ par une curiosité plus marquée pour le jeu que les deux autres groupes. Les élèves ayant pu vivre une expérience de forte immersion se retrouvent dispersés dans les différents groupes, mais sans aucun doute dans une proportion moindre chez les *Inintéressés*. Trois items sur six composant le facteur *Forte immersion* donnent des scores factoriels moyens différents selon les groupes d'élèves: il s'agit du sentiment que l'activité proposée relevait plus d'un exercice que d'un jeu [$F(3,90) = 3.34, p = .023, \eta^2 = .100$], du sentiment de s'être ennuyé [$F(3,90) = 4.38, p = .006, \eta^2 = .127$], et de s'être senti pris par le jeu [$F(3,90) = 3.99, p = .010, \eta^2 = .117$]. Le sentiment de s'être ennuyé est le plus marqué chez les *Joueurs non matheux* ($M = 2.64, ET = 1.07$), suivi de près des *Inintéressés* ($M = 2.52, ET = 1.25$) et le moins prononcé chez les *Mathématiciens curieux* ($M = 1.86, ET = .81$) et les *Peu Confiants* ($M = 1.75, ET = .75$); à l'inverse, ces derniers sont ceux qui, parmi

tous les groupes, se sont sentis le plus pris par le jeu, tandis que les *Inintéressés* l'étaient le moins.

Selon les analyses de comparaisons multiples de Scheffé, les différences sont significatives entre les *Mathématiciens curieux* et les *Joueurs non matheux* pour l'ennui éprouvé durant le jeu ($-.78, p = .041$), et entre les *Peu Confiants* et les *Inintéressés* pour le sentiment de s'être senti pris par le jeu ($-.77, p = .038$). On ne relève cependant pas de différences significatives entre les quatre groupes pour l'oubli du lieu et la distorsion du temps. En moyenne, les élèves ont tous eu le sentiment de n'avoir pas vu le temps passer ; par contre, ils n'ont pas eu, dans l'ensemble, le sentiment d'avoir oublié qu'ils étaient en classe. Quant au facteur *Effort mental* soutenu, il ne se distingue pas non plus d'un groupe d'élèves à l'autre.

Tableau 5 • Comportement dans le jeu selon les profils d'élèves (moyennes et écart-types)

Variables de comportement	Les Joueurs non matheux	Les Mathématiciens curieux	Les Peu Confiants	Les Inintéressés
	m (σ)	m (σ)	m (σ)	m (σ)
Temps passé sur les portes (sec.)	1040 (580)	650 (397)	785 (424)	736 (416)
Nombre de problèmes résolus	.75 (1.01)	1.64 (1.18)	1.22 (1.20)	1.06 (.93)
Utilisation du bouton annuler	4.80 (4.73)	1.84 (2.24)	1.14 (1.21)	2.69 (2.92)
Nombre d'éjections des portes	1.14 (1.30)	.33 (.92)	.83 (1.20)	.55 (1.00)

Des différences dans le degré d'aisance dans le jeu ont également pu être observées selon le profil des joueurs. Le temps total moyen passé sur la première partie du jeu [$F(3,86) = 2.65, p = .054, \eta^2 = .085$], et le nombre de problèmes résolus dans la deuxième partie du jeu [$F(3,84) = 3.08, p = .032, \eta^2 = .099$], varient selon les groupes d'élèves. Les *Mathématiciens curieux* réussissent toujours mieux que les autres, tandis que ce sont les *Joueurs non matheux* qui passent en moyenne le plus de temps sur les *portes* et qui résolvent le moins de problèmes dans la deuxième partie du jeu (tableau 5). Ces derniers se distinguent significativement des *Mathématiciens curieux* ($-.80, p = .044$), selon les tests post-hoc de Scheffé pour le nombre de problèmes résolus. Les *Peu Confiant*, quant à eux, arrivent en deuxième position pour le nombre de problèmes résolus, devant les *Joueurs non matheux* et les *Inintéressés*.

D'autres variables dénotant des attitudes de tâtonnement ou d'hésitation, pour lesquels nous avons procédé à des tests non paramétriques en raison d'une absence d'homogénéité des variances, indiquent des différences de comportement selon les profils de joueurs. Selon le test de Kruskal-Wallis, la fréquence d'utilisation du bouton « annuler » la dernière action ($p = .014$) ainsi que le nombre d'éjections d'une porte dans la première partie du jeu ($p = .016$) en raison d'un dépassement du temps imparti pour résoudre une équation, varie selon le profil des élèves. Les *Joueurs non matheux* ont le plus tendance à activer le bouton « annuler », tandis que les *Peu Confiants* l'utilisent le moins souvent ; ce sont également les *Joueurs non matheux* qui subissent le plus d'éjections alors que les *Mathématiciens curieux* en sont le plus préservés.

5. Discussion

L'analyse en composantes principales combinée à la méthode de classification ascendante hiérarchique a permis de dégager différents profils d'élèves définis en fonction de leur attitude à l'égard des mathématiques, de leur sentiment de compétence dans cette discipline et de leur intérêt pour l'activité de jeu proposée.

L'analyse des différents profils motivationnels a mis en évidence deux types d'engagement dans le jeu sérieux liés à des orientations motivationnelles différentes au départ : d'un côté, nous avons identifié des apprenants orientés plutôt vers les contenus, de l'autre côté, des apprenants orientés plutôt vers le jeu ; une troisième catégorie d'apprenants, qui n'est intéressée ni par le contenu ni par le jeu, ne s'est pas réellement engagée dans les apprentissages visés par le jeu. Un engagement porté au départ par le contenu mathématique apparaît comme ayant été plus bénéfique, dans le cadre de notre jeu sérieux, en termes de motivation et d'expérience de jeu qu'un engagement motivé au départ essentiellement par l'intérêt pour le jeu.

Dans le premier groupe d'apprenants se trouvent les *Mathématiciens curieux* et les *Peu confiants*. Ils ont majoritairement apprécié *Algebra Mystery*, sans doute parce que le jeu sérieux a répondu à leurs attentes de départ, mais aussi parce que leur performance dans le jeu, tributaire de leur motivation intrinsèque pour les mathématiques, a contribué à ce sentiment de satisfaction. Ces deux profils d'élèves ont en commun un intérêt personnel pour le contenu mathématique, doublé d'un intérêt situationnel (Fredricks *et al.*, 2004), (Murphy et Alexander, 2000) chez les *Mathématiciens curieux*, puisque ces derniers se disaient aussi curieux de

découvrir le jeu. L'intérêt personnel conduit à un investissement plus important dans l'activité en raison d'un désir marqué d'acquérir de nouvelles compétences dans le champ en question (Eccles et Wigfield, 2002), (Hidi, 2001), (Linnenbrink et Pintrich, 2003).

Les apprenants-joueurs qui avaient avant tout un intérêt pour les contenus d'apprentissage au départ du jeu, ont fait preuve d'un engagement élevé dans le jeu, ils ont été persévérants tout au long de l'activité malgré les obstacles rencontrés. Leur comportement dans le jeu s'est caractérisé par la volonté de comprendre les mécanismes du jeu ainsi que le contenu pédagogique qui lui était étroitement associé, ce qui s'est traduit par des réussites tout au long du jeu. La conception d'un jeu fortement axé sur les mathématiques, correspondant sans doute en partie aux attentes des apprenants, ainsi que le fait de pouvoir se rendre compte des progrès réalisés (résoudre les équations et les problèmes mathématiques) et de se sentir compétents dans l'activité menée ont dû avoir un effet positif sur leur engagement et renforcer celui-ci (Whitton, 2010).

Une partie des apprenants orientés « contenu », les *Peu Confiants*, ont déclaré avant le jeu avoir un faible sentiment d'efficacité personnelle dans la résolution de problèmes. Il s'agit d'apprenants qui ont sans doute en général de la peine à s'engager dans une activité mathématique et à se sentir compétents pour la mener à terme. Ils ont d'ailleurs fait part au début d'un faible intérêt pour le jeu, même s'ils ont une attitude favorable à l'égard des mathématiques, faible intérêt qui s'explique peut-être par des expériences passées négatives en mathématique ou est le fruit d'un certain scepticisme quant à l'efficacité des jeux pour apprendre les mathématiques. L'attitude circonspecte par rapport au jeu proposé n'a toutefois pas eu d'incidence négative sur leur engagement et leur motivation à réussir.

Un simple habillage des tâches mathématiques n'est pourtant souvent pas suffisant pour induire un véritable engagement dans les apprentissages pour des élèves en difficulté scolaire et les inciter à l'action (Pelgrims et Cèbe, 2010). On peut supposer que la conception d'un jeu centré sur le contenu pédagogique, ne contenant pas d'éléments distrayants, ainsi que la présence de feedbacks, informant immédiatement les apprenants de la validité de leurs actions, ont permis aux élèves *peu confiants* de réguler leurs actions au fur et à mesure de leur avancement dans le jeu, ce qui a dû favoriser leur engagement et leur persévérance dans le jeu et contribuer à leur progression (Cameron et Dwyer, 2005),

(Gunter *et al.*, 2008). Un environnement d'apprentissage en ligne a aussi comme avantage de ne pas émettre de jugement de valeur sur les erreurs commises et peut de ce fait avoir un effet rassurant pour ce profil de joueurs. Aucun de ces élèves n'a abandonné en cours de route le jeu, même si certains d'entre eux ont rencontré des difficultés dans la prise en main du logiciel, alors que ce sont des élèves qui ont sans doute souvent été confrontés à des échecs et ont pu développer au cours du temps des comportements d'évitement (Pelgrims et Cèbe, 2010). En laissant peu de place à des stratégies d'essais-erreurs et en fournissant des rétroactions immédiates, *Algebra Mystery* a certainement encouragé ces élèves à attribuer leurs réussites et échecs à leurs propres actions, plutôt qu'à des causes externes incontrôlables qui ont un effet négatif sur la motivation (Graham et Williams, 2009), et leur a donné le sentiment d'avoir acquis de nouvelles connaissances en mathématique.

Par contre, les apprenants-joueurs qualifiés de *Joueurs non matheux*, qui étaient au départ essentiellement motivés à s'engager dans *Algebra Mystery* en raison de leur intérêt pour le jeu, mais qui n'avaient pas de plaisir à faire des mathématiques, ne sont pas parvenus à surmonter certaines des difficultés auxquelles ils ont été confrontés durant le jeu, ce qui a empêché une véritable entrée dans les apprentissages. Leur engagement initial, orienté sur le « jeu » n'a pas coïncidé avec un engagement cognitif dans les contenus didactiques ; il s'est délité au fur et à mesure des problèmes rencontrés, qui relevaient soit du contenu didactique soit de la prise en main des mécaniques de jeu ou des deux à la fois, s'agissant d'un jeu intrinsèquement intégré.

Plusieurs des facteurs considérés comme ayant un effet négatif sur l'engagement (Whitton, 2010) ont joué en défaveur de ces apprenants, tels que des difficultés à démarrer dans la deuxième partie du jeu, le fait d'être restés bloqués dans le premier problème pour une majorité d'entre eux, et un ennui intrinsèque manifesté pour le contenu ou l'activité elle-même. Face à un jeu centré essentiellement sur un contenu d'apprentissage, les *Joueurs non matheux* ont sans doute eu le sentiment que le jeu proposé, tel qu'il était conçu, ne contenait pas suffisamment de ressorts ludiques. Lorsque la motivation porte essentiellement sur le jeu et que la motivation intrinsèque pour le contenu pédagogique fait totalement défaut, voire que des émotions négatives sont ressenties par rapport à celui-ci, il semble difficile de reporter l'intérêt pour le jeu sur le contenu d'apprentissage lorsque celui-ci est prédominant dans l'environnement d'apprentissage. Il serait sans doute souhaitable, pour maintenir l'enga-

gement de cette catégorie d'apprenants-joueurs, de concevoir un environnement qui contienne plus d'éléments ludiques, dans l'idée qu'en soutenant un engagement orienté sur le jeu, on assiste à un effet contagieux sur l'engagement dans les contenus d'apprentissage.

Enfin, les joueurs-apprenants qui n'étaient particulièrement intéressés ni par le contenu ni par le jeu, se sont sentis moins motivés à s'engager dans un jeu pédagogique même si ce sont des apprenants qui n'avaient pas de difficultés majeures dans le champ disciplinaire dans lequel s'inscrit le jeu. Il semble difficile de faire entrer dans un jeu des élèves très peu intéressés au départ par l'activité qui leur est proposée, voire qui lui sont hostiles. Ce résultat confirme le rôle central que joue l'intérêt pour un contenu ou une tâche dans l'envie de s'engager dans une activité (Linnenbrink et Pintrich, 2003). Une attitude détachée dès le départ et qui se maintient tout au long du jeu se traduit par une absence d'apprentissage, même si certains de ces apprenants ont passé le cap du premier problème. Un accompagnement particulier ou une introduction au jeu seraient peut-être efficaces pour assurer un engagement cognitif et comportemental, voire émotionnel, plus important de ces élèves afin de leur assurer une plus grande satisfaction et une progression plus importante dans les apprentissages visés par un jeu.

Les profils dégagés ont donc révélé des attentes et des motivations variées chez les joueurs qui se sont traduites par différents types de comportements d'engagement dans le jeu et par une qualité d'expérience différenciée selon les profils. D'autres études ont également montré pour les jeux vidéo que l'attention et la conscience des joueurs pouvaient être tournées vers des éléments distincts, notamment soit vers l'environnement du jeu soit vers le jeu lui-même (Bouvier *et al.*, 2014). L'engagement apparaît donc comme un état qui se manifeste et se maintient dans un jeu sérieux lorsque la forme du jeu et ses contenus pédagogiques coïncident avec les attentes et les intérêts des apprenants-joueurs. Dans le cas d'un jeu sérieux comme *Algebra Mystery* qui privilégie des contenus complexes, entièrement ou partiellement nouveaux pour ses utilisateurs, et où les formes du jeu pourraient être davantage développées, ce ne sont finalement pas les « joueurs » mais les « sérieux » qui ont le plus progressé dans le jeu et se sont déclarés les plus satisfaits de l'activité.

L'ACP a montré, par ailleurs, un lien clair entre la curiosité *a priori* avant le jeu et une forte immersion dans l'univers fictif du jeu, sans qu'on

puisse néanmoins relever un lien entre une expérience de jeu que l'on peut qualifier de proche d'un état de *flow* (plaisir, absence d'ennui et déconnexion temporelle et spatiale) et la progression dans la résolution des problèmes. Il semble donc que l'état d'expérience optimale n'est pas forcément propice à un engagement cognitif dans la tâche d'apprentissage et dans la prise de conscience des concepts mathématiques sous-jacents dans le jeu (Klawe, 1998).

Aucun des profils d'élèves n'est associé à une forte immersion dans le jeu bien que deux groupes d'élèves (Les *Joueurs non matheux* et les *Mathématiciens curieux*) se caractérisent au départ par une curiosité plus marquée pour le jeu que les deux autres groupes. Les *Peu confiants* se distinguent cependant des *Inintéressés* en affirmant s'être sentis pris par le jeu et ne pas s'être ennuyés mais d'autres dimensions importantes du *flow* comme l'oubli du lieu ou la distorsion du temps ne sont pas l'apanage d'un groupe par rapport à un autre. Les élèves ayant pu vivre une expérience de forte immersion se retrouvent dispersés dans les différents groupes, mais sans aucun doute dans une proportion moindre chez les *Inintéressés*. La nouveauté du jeu, les difficultés de prise en main et le contexte d'utilisation de la classe ont sans doute rendu difficile l'émergence et le maintien tout au long du jeu d'une expérience proche du *flow*.

6. Conclusion

Nous avons évalué dans cette étude les aspects motivationnels d'un jeu vidéo destiné à l'apprentissage de concepts algébriques. Les résultats indiquent, en lien avec nos questions de recherche, que les prédispositions motivationnelles des apprenants, mesurées avant l'engagement dans le jeu, peuvent être mises en relation avec certains comportements durant le jeu, avec la difficulté ou la facilité de la prise en main de l'environnement d'apprentissage/jeu, ainsi qu'avec la qualité de l'expérience, mais aussi avec la perception qu'ont les apprenants/joueurs d'avoir acquis ou non de nouvelles connaissances suite à l'activité proposée. En particulier, différents profils d'élèves ont pu être dégagés à partir des déterminants motivationnels, ce qui a permis de montrer que les notions de plaisir à jouer, de progression dans le jeu, de capacité à surmonter les obstacles, d'immersion et de perception de l'apprentissage ne sont pas liés de manière simple et directe mais sont le produit d'une configuration complexe.

Sur le plan de la motivation, l'expérience menée avec *Algebra Mystery* a confirmé que l'intérêt pour une activité, conformément à la théorie de l'intérêt, joue un rôle déterminant dans l'engagement des élèves dans une activité donnée. Néanmoins, dans le cas d'un jeu sérieux, l'orientation de l'intérêt, selon qu'il porte sur le jeu, le contenu d'apprentissage, ou les deux à la fois, semble avoir une influence prépondérante sur le degré d'engagement cognitif et la qualité de l'expérience de jeu des joueurs-apprenants. Par ailleurs, à moins d'un intérêt complètement absent, voire d'une attitude négative envers l'activité proposée, qui rend très difficile tout engagement et persistance, la nature de l'environnement d'apprentissage et la qualité de l'interaction entre l'apprenant et cet environnement est susceptible de faire naître en cours de jeu un intérêt grandissant pour l'activité, même si au départ celui-ci était faible, et conduire à l'engagement cognitif et émotionnel des intéressés. Des élèves a priori peu confiants, qui ont un sentiment d'efficacité personnelle moindre, semblent bénéficier d'un environnement d'apprentissage interactif et ludique qui fournit des feedbacks immédiats sur chacune des actions menées.

Mieux connaître à l'avance les prédispositions motivationnelles des joueurs-apprenants pourrait donc servir à orienter ces derniers de manière plus efficace vers telle ou telle activité pédagogique et de prévoir des mesures d'accompagnement adaptées en fonction du profil de chaque joueur-apprenant. Dans le cas des « joueurs » peu intéressés au départ par le contenu didactique, l'entrée dans les apprentissages pourrait se faire plus progressivement, des intermèdes de « pur jeu » pourraient être proposés à certains moments du jeu tout en conservant en parallèle des contenus d'apprentissage intégrés dans la mécanique du jeu. On peut dès lors se demander si un accent mis sur l'apprentissage durant tout le temps du jeu, à travers chacune des actions du jeu, est toujours profitable en matière d'engagement pour les profils de « purs joueurs » qui estiment qu'il y a insuffisamment de jeu et d'actions et trop de contenu pédagogique.

Il serait, par ailleurs, important de mener une analyse didactique des interactions entre le joueur et l'environnement de jeu afin de mettre en évidence les difficultés rencontrées par les joueurs dans leur compréhension des notions mathématiques sous-jacentes et d'établir précisément dans quelle mesure l'environnement proposé, qui comportait différentes représentations des objets mathématiques, a contribué, pour chacun des profils motivationnels, à la construction des connaissances mathématiques visées par le jeu.

Remerciements

Nous tenons à remercier les enseignants du Cycle d'Orientation des Colombières qui ont participé à la phase d'expérimentation du projet et notamment Gabriel Thullen qui a suivi le projet dès sa phase de conception. Nous remercions également Nicolas Habonneau pour le développement d'*Algebra Mystery* ainsi que la Commission informatique de l'Université de Genève qui a soutenu financièrement le projet.

BIBLIOGRAPHIE

AINSWORTH, S. (1999). *Designing effective multi-representational learning environments*. ESRC Centre for Research in Development, Instruction & Training, Department of Psychology, University of Nottingham, 58. Repéré à <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.422.8804&rep=rep1&type=pdf>

BARR, P., Noble, J. et Biddle, R. (2007). Video game values: Human-computer interaction and games. *Interacting with Computers*, 19(2), 180-195.

BOURGEOIS, E. (2011). La motivation à apprendre. Dans E. Bourgeois et G. Chapelle (dir.), *Apprendre et faire apprendre* (2nd ed., p. 235-253). Paris: Presses Universitaires de France.

BOUVIER, P., LAVOUE, E. et SEHABA, K. (2014). Defining engagement and characterizing engaged-behaviors in digital gaming. *Simulation & Gaming*, 45(4-5), 491-507.

BRANSFORD, J. D., BROWN, A. L. et COCKING, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school*. Washington, DC: National Academy Press.

BROCKMYER, J. H., FOX, C. M., CURTISS, K. A., MCBROOM, E., BURKHART, K. M. et PIDRUZNY, J. N. (2009). The development of the Game Engagement Questionnaire: A measure of engagement in video game-playing. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(4), 624-634.

BROWN, E. et CAIRNS, P. (2004). A grounded investigation of game immersion. Dans *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2004)* (p. 1297-1300). ACM Press.

CAMERON, B. et DWYER, F. (2005). The effect of online gaming, cognition and feedback type in facilitating delayed achievement of different learning objectives. *Journal of Interactive Learning Research*, 16(3), 243-258.

CSIKSZENTMIHALYI, M. (1990). *Flow: the psychology of optimal experience*. New York, NY: Harper.

CSIKSZENTMIHALYI, M. et NAKAMURA, J. (1989). The dynamics of intrinsic motivation: A study of adolescents. Dans C. Ames & R. Ames (dir.), *Research on motivation in education* (Vol. 3, p. 45-71). San Diego, CA: Academic Press.

DUVAL, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.

DUVAL, R. (2002). Comment décrire et analyser l'activité mathématique ? Cadres et registres. Dans *Actes de la journée en hommage à Régine Douady* (p. 83-105). Paris, France : IREM, Université Paris 7 Denis Diderot. Repéré à <http://numerisation.irem.univ-mrs.fr/PS/IPS02004/IPS02004.pdf>

ECCLES, J. S. et WIGFIELD, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109-132.

EGENFELDT-NIELSEN, S. (2005). *Beyond edutainment. Exploring the educational potentials of computer* (Thèse, IT-University of Copenhagen, Danemark).

ESTEBAN-MILLAT, I., MARTÍNEZ-LÓPEZ, F. J., HUERTAS-GARCÍA, R., MESEGUER, A. et RODRÍGUEZ-ARDURA, I. (2013). Modelling students' flow experiences in an online learning environment. *Computers & Education*, 71, 111-123.

FREDRICKS, J. A., BLUMENFELD, P. C. et PARIS, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59-109.

GARRIS, R., AHLERS, R. et DRISKELL, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441-467.

GRAHAM, S. et WILLIAMS, C. (2009). An attributional approach to motivation in school. Dans K. Wentzel et A. Wigfield (dir.), *Handbook of motivation at school* (p. 11-33). London, United Kingdom : Routledge.

GUNTER, G. A., KENNY, R. F. et VICK, E. H. (2008). Taking educational games seriously: Using the RETAIN model to design endogenous fantasy into standalone educational games. *Educational Technology Research and Development*, 56(5-6), 511-537.

HABGOOD, J. (2007). *The effective integration of digital games and learning content* (Thesis, University of Nottingham, U.K.). Repéré à http://eprints.nottingham.ac.uk/10385/1/Habgood_2007_Final.pdf

HABGOOD, J. et AINSWORTH, S. (2011). Motivating children to learn effectively: Exploring the value of intrinsic integration in educational games. *The Journal of the Learning Sciences*, 20(2), 169-206.

HIDI, S. (2001). Interest, reading, and learning: Theoretical and practical considerations. *Educational Psychology Review*, 13(3), 191-209.

JENNETT, C., COX, A. L., CAIRNS, P., DHOPAREE, S., EPPS, A., TIJS, T. et WALTON, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 641-661.

KLAWE, M. (1998). *When does the use of computer games and other interactive multimedia software help students learn mathematics?* Repéré à <http://mathforum.org/technology/papers/papers/klawe.html> (consulté le 25 novembre 2016).

LAZZARO, N. (2004). *Why we play game: Four keys to more emotion without story.* Repéré sur le site de Xeodesign à http://xeodesign.com/xeodesign_whyweplaygames.pdf (consulté le 25 novembre 2016).

LINNENBRINK, E. A. et PINTRICH, P. R. (2003). The role of self-efficacy beliefs in student engagement and learning in the classroom. *Reading & Writing Quarterly*, 19(2), 119-137.

Denise SUTTER WIDMER, Nicolas SZILAS

MALONE, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 5(4), 333-369.

MALONE, T. W. et LEPPER, M. R. (1987). Making learning fun : a taxonomy of intrinsic motivations for learning. Dans R. E. Snow et M. J. Farr (dir.), *Aptitude, learning and instruction: III. Conative cognitive and affective process* (p. 222-253). Hillsdale, NJ : Erlbaum.

MAYER, R. E. (2007). *Learning and instruction* (2nd ed.). Pearson.

MICHAEL, D. et CHEN, S. (2006). *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Boston, MA: Thomson.

MITCHELL, A. et SAVILL-SMITH, C. (2004). *The use of computer and video games for learning. A review of the literature*. London, United Kingdom : Learning and Skills Development Agency.

MURPHY, P. K. et ALEXANDER, P. A. (2000). A motivated exploration of motivation terminology. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 3-53.

O'BRIEN, H. L. et TOMS, E. G. (2008). What is user engagement? A conceptual framework for defining user engagement with technology. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(6), 938-955.

PELGRIMS, G. (2009). Contraintes et libertés d'action en classe spécialisée : leurs traces dans la motivation des élèves à apprendre les mathématiques. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 9, 135-158. Repéré à <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:92288>

PELGRIMS, G. et CEBE, S. (2010). Aspects motivationnels et cognitifs des difficultés d'apprentissage : le rôle des pratiques d'enseignement. Dans M. Crahay et M. Dutrévis (dir.), *Psychologie des apprentissages scolaires* (p. 111-135). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

RATHUNDE, K. et CSIKSZENTMIHALYI, M. (2005). Middle school students' motivation and quality of experience : A comparison of Montessori and traditional school environments. *American Journal of Education*, 111(3), 341-371.

RYAN, R. M. et DECI, E. L. (2009). Promoting self-determined school engagement. Dans K. Wentzel et A. Wigfield (dir.), *Handbook of motivation at school* (p. 171-195). London, United Kingdom : Routledge.

SALEN, K., NOWACEK, N., TANDON, R., NUNEZ, E. et JENSON, T. (2009). *Gamestar mechanic, Learning guide*. Institute of Play.

SALEN, K. et ZIMMERMAN, E. (2004). *Rules of play: game design fundamentals*. Cambridge, MA : The MIT Press.

SALOMON, G. (1972). Can we affect cognitive skills through visual media? An hypothesis and initial findings. *AV Communication Review*, 20(4), 401-422.

SCHUNK, D. H., MEECE, J. et PINTRICH, P. R. (2014). *Motivation in education: Theory, research, and applications* (4th ed.). Pearson Education.

SUTTER WIDMER (2017), *Conception et évaluation d'un jeu vidéo en algèbre: Apprentissage, motivation et usage de la visualisation dans un environnement aux représentations multiples* (Thèse de doctorat). Université de Genève, Suisse.

SZILAS, N. et SUTTER WIDMER, D. (2009). Mieux comprendre la notion d'intégration entre l'apprentissage et le jeu. Dans *Actes de l'Atelier Jeux Sérieux - Conférence francophone Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*

(EIAH'09) (p.27-40). Repéré à <http://eductice.ens-lyon.fr/EducTice/recherche/geomatique/telechargement/actesEIAH2009>

TAPIA, M., MARSH, I. et GEORGE, E. (2004). An instrument to measure mathematics attitudes. *Academic Exchange Quarterly*, 8(2), 2-9.

VIAU, R. (1998). La motivation en contexte scolaire (2nd ed.). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

VOGEL, M., GIRWIDZ, R. et ENGEL, J. (2007). Supplantation of mental operations on graphs. *Computers & Education*, 49(4), 1287-1298.

WHITTON, N. (2010). Game engagement theory and adult learning. *Simulation & Gaming*, 42(5), 596-609.



Comités

1. Rédacteur en chef

Sébastien GEORGE • LIUM, Le Mans Université, Laval

2. Comité de rédaction

Georges-Louis BARON • EDA, Université Paris Descartes

Monique BARON • LIP6, Université Pierre et Marie Curie

Laetitia BOULC'H • EDA, Université Paris Descartes

Éric BRUILLARD • STEF, ENS Cachan

Pierre-André CARON • CIREL, Université Lille 1

Christophe DESPRÈS • LIUM, Le Mans Université, Laval

Sébastien GEORGE • LIUM, Le Mans Université, Laval

Monique GRANDBASTIEN • LORIA, Université Henri-Poincaré-Nancy 1

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

Pierre JACOBONI • LIUM, Le Mans Université, Laval

Élise LAVOUÉ • IAE de Lyon, Université Jean Moulin Lyon 3

Vanda LUENGO • LIP6, Université Pierre et Marie Curie

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 • CNRS, Laboratoire d'Informatique de Grenoble

Stefano CERRI • LIRMM & Université de Montpellier 2

Christian DEPOVER • Université de Mons-Hainaut, Belgique

Alain DERYCKE • TRIGONE, Université de Lille 1

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, Université Pierre et Marie Curie
Patrick MENDELSON • LSE, IUFM de Grenoble
Jean-François NICAUD • Université Joseph Fourier, Laboratoire
d'Informatique de Grenoble
Gilbert PAQUETTE • LICEF, Télé-université, Université du Québec,
Montréal, Canada
Jacques PERRIAULT • Université Paris Nanterre
Jeanine 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 Nanterre-Paris 10
Mireille BETRANCOURT • TECFA, Université de Genève, Suisse
Jacques BÉZIAT • FRED, Université de Limoges
Bernard BLANDIN • CREF, Université Paris Nanterre et CESI
Julien BROISIN • IRIT, Université de Toulouse Paul Sabatier
Thibault CARRON • Université de Savoie Mont-Blanc
Ullrich CARSTEN • EdTec Lab, DFKI GmbH, Sarrebrück, Allemagne
Thierry CHANIER • LRL, Université Blaise-Pascal-Clermont-Ferrand 2
Ghislaine CHARTRON • CNAM, Paris
Christophe CHOQUET • LIUM, Le Mans Université, Laval, Laval
Philippe COTTIER • CREN, Université de Nantes
Jacques CRINON • CIRCEFT, ESPÉ, Université Paris-Est Créteil Val de
Marne
Bruno DE LIÈVRE • Université de Mons, Belgique
Nicolas DELESTRE • LITIS, INSA de Rouen
Élisabeth DELOZANNE • LIP6, Université Pierre et Marie Curie
Michel DESMARAIS • École polytechnique de Montréal
Cyrille DESMOULINS • LIG, Université Joseph-Fourier-Grenoble 1
Philippe DESSUS • ESPE de l'académie de Grenoble & LSE, Université
Pierre-Mendes-France-Grenoble 2
Angélique DIMITRACOPOULOU • LTEE, Université d'Egée, Grèce
Béatrice DROT-DELANGÉ • ACTÉ, Université Clermont Auvergne
Aude DUFRESNE • ESI, Université de Montréal, Canada
Cédric FLUCKIGER • Théodile-CIREL - Université Lille 3

Serge GARLATTI • Lab-STICC, Telecom Bretagne, Brest
 Viviane GUÉRAUD • LIG, Université Grenoble Alpes
 Brigitte GRUGEON • Laboratoire André Revuz, ESPÉ, Université Paris Est
 Créteil Val de Marne
 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 • Télé6, Université Pierre et Marie Curie
 Michelle JOAB • ERES & LIRMM, Université Montpellier 2
 Céline JOIRON • MIS, Université de Picardie Jules Verne, Amiens
 Mehdi KHANEBOUBI • IFÉ, ENS Lyon
 Vassilis KOMIS • Université de Patras, Grèce
 Thérèse LAFFERRIÈRE • TACT, Université Laval, Québec
 Françoise LE CALVEZ • LIP 6, Université Pierre et Marie Curie
 Dominique LENNE • Heudiasyc, Université de Technologie de
 Compiègne
 Pascal LEROUX • CREN, Université de Nantes
 Paul LIBBRECHT • CELT, Sarrebruck, Allemagne
 Cabral LIMA • Université de Rio, Brésil
 Domitile LOURDEAUX • Heudiasyc, Université de Technologie de
 Compiègne
 Pascal MARQUET • LSE, Université Louis-Pasteur-Strasbourg 1
 Jean-Charles MARTY • LIRIS, Université de Savoie
 André MAYERS • Université de Sherbrooke, Canada
 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 • LIFL, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq
 Julia PILET • Laboratoire André Revuz, Université Paris Est Créteil Val de
 Marne
 Dominique PY • LIUM, Université du Maine, Le Mans
 Christophe REFFAY • ELLIAD, Université de Franche-Comté
 Éric SANCHEZ • CERF, Université de Fribourg, Suisse
 Nicolas SZILAS • TECFA, Université de Genève, Suisse
 Pierre TCHOUNIKINE • IMAG, Université de Grenoble
 André TRICOT • CERFI, ESPE de Midi-Pyrénées & Université Le-Mirail-
 Toulouse 2

Nicolas VAN LABEKE • Learning Sciences Research Institute,
University of Nottingham, UK

François VILLEMONTÉIX • EMA, Université de Cergy-Pontoise

Jean VANDERDONCKT • ISYS, Université catholique de Louvain,
Belgique

Kalina YACEF • Université de Sydney, Australie

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

Sébastien GENVO • CREM, Université de Lorraine

Anne LEJEUNE • LIG, Université Grenoble Alpes

François MANGENOT • LIDILEM, Université Grenoble Alpes

Sandra NOGRY • PARAGRAPHE, Institut d'Éducation, Université Cergy-
Pontoise

Lahcen OUBAHSSI • LIUM, Le Mans Université, Laval

Jean-Jacques QUINTIN • ISPEF, Université Lumière Lyon 2

Jacques VIENS • Département psychopédagogie et andragogie, Université
de Montréal, Canada

