



HAL
open science

Sélection de la 8ème conférence EIAH

Chrysta Pélissier, Nathalie Guin, Bruno de Lievre

► **To cite this version:**

Chrysta Pélissier, Nathalie Guin, Bruno de Lievre. Sélection de la 8ème conférence EIAH. STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), 25 (1), 2018. halshs-03915781

HAL Id: halshs-03915781

<https://shs.hal.science/halshs-03915781>

Submitted on 29 Dec 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sticef

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

Volume 25, numéro 1, 2018

numéro spécial

**Sélection
de la conférence
EIAH 2017**

*sous la direction de
Chrysta PÉLISSIER,
Nathalie GUIN et
Bruno DE LIÈVRE*



Sticef

Sticef

**Volume 25
numéro 1, 2018**

numéro spécial
**Sélection de la
conférence
EIAH 2017**

© ATIEF, 2018

ISBN 978-2-9552774-9-2

DOI:10.23709/sticef.25.1 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

Chrysta PÉLISSIER, Nathalie GUIN, Bruno DE LIÈVRE • Éditorial du numéro spécial	7
Azzeddine BENABBOU, Domitile LOURDEAUX, Dominique LENNE • Un modèle de génération de dilemmes de prohibition et d'obligation en environnement virtuel	13
Mathieu MURATET, Amel YESSAD, Thibault CARRON, Arthur RAMOLET • Un système d'aide à l'analyse des traces des apprenants dans les jeux sérieux	37
Mathieu VERMEULEN, Nadine MANDRAN, Jean-Marc LABAT, Gaëlle GUIGON • Vers une approche <i>Meta-Design</i> des <i>Learning Games</i> avec le modèle DISC : de la conception à l'analyse des traces d'usage des étudiants par les enseignants.....	65
Rubiela CARRILLO, Yannick PRIÉ, Leslie GUILLAUME, Élise LAVOUÉ • Suivre l'engagement des apprenants dans l'activité de construction de cartes mentales	93
Matthieu CISEL • Le choix d'un MOOC, un processus influencé par l'organisation des cours en catalogues ?	121
Gaëtan TEMPERMAN, Stéphanie MONTAGNE, Bruno DE LIÈVRE, Karim BOUMAZGUIDA • Analyse des usages d'aides par QR codes et de leurs effets dans un manuel scolaire augmenté.....	151

Sommaire

Rémi VENANT, Kshitij SHARMA, Philippe VIDAL, Pierre DILLENBOURG, Julien BROISIN • Étude du comportement des apprenants dans les travaux pratiques et de sa corrélation avec la performance académique	169
Sunny AVRY , Guillaume CHANEL, Mireille BETRANCOURT, Thierry PUN, Gaëlle MOLINARI • Effet des antécédents émotionnels de contrôle et de valeur sur la résolution de problème dans un jeu vidéo collaboratif	195
Comités	221



Éditorial du numéro spécial Sélection de la conférence EIAH 2017 - Volume 25, n° 1

► **Chrysta PÉLISSIER** (PRAXILING, Université Montpellier 3),
Nathalie GUIN (LIRIS, Université Lyon 1),
Bruno DE LIÈVRE (DESTE, Université de Mons)

1. Introduction

Ce numéro spécial présente une sélection de huit articles issus de la 8^e édition de la conférence EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) qui s'est déroulée à Strasbourg (France) du 6 au 9 juin 2017.

Organisée tous les deux ans, cette conférence francophone, parrainée par l'Association des Technologies de l'Information pour l'Éducation et la Formation (ATIEF), a pour objectif la diffusion de travaux de recherche et la formation des chercheurs effectuant des études scientifiques en lien avec les EIAH. Cette communauté communique sur des recherches dont la finalité est de susciter et d'accompagner les activités d'enseignement et d'apprentissage intégrant le numérique. L'enjeu est d'aider à la conception, au développement, à la coordination et à l'évaluation de situations d'apprentissage, qu'elles soient en présence, à distance, hybrides, en contextes scolaires, universitaires ou professionnels (formation tout au long de la vie). L'objectif est de fournir divers moyens d'appréhender, d'explicitier et/ou de faire évoluer les pratiques sociales et professionnelles des différents acteurs impliqués dans ces démarches : enseignant/formateur, élève/apprenant, institution/école/université.

Compte tenu des thématiques abordées, la communauté EIAH est par essence multidisciplinaire. Nous retrouvons cette caractéristique dans les différents articles présents dans ce numéro spécial.

2. Présentation du numéro spécial

Les textes proposés sont des versions étendues d'articles publiés dans les actes de la conférence EIAH 2017. Leurs auteurs ont été sollicités par les co-présidents (Nathalie GUIN et Bruno DE LIÈVRE) en fonction des notes attribuées aux articles par les deux relecteurs du comité de programme de la conférence. Ils ont soumis à STICEF une version longue qui a ensuite suivi le processus de sélection imposé par la revue, à savoir une relecture par deux évaluateurs. L'un des deux relecteurs a été choisi parmi les membres du comité de lecture de la revue STICEF et l'autre parmi les membres du comité de programme de la conférence EIAH 2017. Ainsi, suite aux différentes remarques des relecteurs, sur les dix articles soumis, huit ont été retenus pour ce numéro spécial.

Les thématiques abordées par ces huit articles relèvent de différentes problématiques en lien avec le processus de conception d'un cours ou d'un EIAH, l'évaluation des productions et des comportements des apprenants et les stratégies qu'ils mettent en place.

2.1. Conception d'un cours ou d'un EIAH

Trois contributions interrogent le processus de conception. La première contribution propose un système de scénarisation capable de générer des dilemmes intégrés à une démarche d'enseignement. La seconde décrit un cadre méthodologique d'aide à la construction du réseau de Petri d'un jeu sérieux et à son utilisation. La dernière présente un modèle formel utilisé comme guide conceptuel dans la phase de conception des *Learning Games*.

Azzeddine Benabbou, Domitile Lourdeaux et Dominique Lenne proposent un système de scénarisation capable de générer des dilemmes intégrés à une démarche d'enseignement, sans avoir à les écrire à l'avance.

La problématique porte sur l'identification de procédures d'utilisation des modèles de connaissances pour en extraire les propriétés nécessaires à l'émergence de dilemmes. Cette approche vise à concevoir des systèmes de scénarisation permettant de former les apprenants à la gestion des situations critiques.

Les résultats montrent que le système a pu générer des situations qui, comparées à des situations normales, étaient plus compliquées en termes de prise de décision. Ils montrent également que les participants sont plus hésitants dans les situations générées que dans les situations normales.

L'article de Mathieu Muratet, Amel Yessad, Thibault Carron et Arthur Ramolet propose un cadre méthodologique d'aide à la construction du réseau de Petri d'un jeu sérieux et à son utilisation.

La problématique porte sur la caractérisation d'une méthodologie de construction d'un jeu sérieux et du suivi de l'activité apprenante. Par le cadre méthodologique proposé, l'enseignant est assisté dans la construction du réseau de Petri d'un jeu sérieux. Il est également accompagné dans l'analyse des traces laissées par les apprenants.

Les résultats montrent que l'algorithme d'étiquetage proposé est intéressant. Les apports de la méthodologie sont réels. Les résultats montrent en particulier l'utilité des étiquettes et la concordance des scores calculés par le système avec les notes mises par les enseignants.

Enfin, Mathieu Vermeulen, Gaëlle Guigon, Nadine Mandran et Jean-Marc Labat présentent un modèle formel utilisé comme guide conceptuel dans la phase de conception des *Learning Games*.

La problématique s'intègre à une approche *Meta-Design* et porte plus particulièrement sur l'identification de composants déclinables en objets informatiques (artefacts) participant à un modèle dédié à la conception d'un *Learning Game*.

Les résultats montrent que cette approche, qui engage fortement les enseignants dans les phases de conception et d'usage, favorise l'utilisation des EIAH conçus. Les enseignants intègrent notamment le jeu comme fil conducteur des différents travaux pratiques donnés aux étudiants.

2.2. L'évaluation des productions et des comportements des apprenants

Trois articles abordent la thématique de l'évaluation. Le premier propose une manière d'approcher la production des cartes mentales produites par les apprenants. Le second présente une analyse et une interprétation des données d'inscription à plusieurs MOOC proposés par des plates-formes hébergeant des catalogues et le troisième questionne l'apport et les effets des QR codes dans un manuel pédagogique d'éveil historique.

Rubiella Carrillo, Yannick Prié, Leslie Guillaume et Élise Lavoué présentent des recherches visant à outiller les enseignants dans leurs procédures d'interprétation des cartes mentales produites par les apprenants.

La problématique est en lien avec des indicateurs d'évaluation reposant sur les traces d'interaction des apprenants. Le but est d'outiller les enseignants, de les aider à comprendre à la fois les cartes mentales produites par les apprenants et leur processus de construction.

Les résultats montrent qu'un tableau permettant de visualiser ces indicateurs peut participer à la compréhension des données fournies/produites par les apprenants. Cependant, les auteurs avancent également que plusieurs indicateurs proposés dans l'article peuvent être améliorés : certains manquent d'informations importantes, d'autres devraient être présentés différemment et d'autres encore nécessitent d'être plus explicites.

Mathieu Cisel s'interroge sur les choix d'inscription des participants aux MOOC et sur leur investissement dans le suivi des cours, notamment dans le cas des inscriptions multiples. L'objectif est de préciser les processus qui conduisent à l'inscription à un MOOC et à son suivi.

Il propose une analyse de données d'inscription issues de la plateforme française FUN et des données d'une enquête au prisme de la notion de clé d'entrée, menée auprès d'une douzaine de MOOC. L'hypothèse est que ces données participent à l'interprétation des comportements observés.

Selon cette analyse, il existe une forte représentation d'inscriptions issues de visites expérientielles, inscriptions choisies lors de la consultation d'un catalogue au cours de laquelle les utilisateurs n'ont pas forcément une idée précise du (ou des) MOOC qu'ils souhaitent suivre. L'auteur en déduit que les comportements observés au sein d'un dispositif en ligne peuvent être influencés par les caractéristiques de présentation des MOOC dans les catalogues parcourus.

Enfin, Gaëtan Temperman, Stéphanie Montagne, Bruno De Lièvre et Karim Boumazguida questionnent l'apport et les effets de l'utilisation de QR codes pour partager et diffuser de l'information. L'enjeu est de pouvoir recommander l'usage de QR codes dans des contextes de formation.

Les auteurs focalisent leur étude sur l'apport et les effets de relances (prompts) proposées par des QR Codes dans un manuel d'éveil historique en version papier.

Les résultats montrent entre autres que les élèves qui bénéficient de relances par des QR Codes pour guider leur recherche et leur traitement

d'informations progressent davantage que les autres dans la maîtrise du contenu informationnel traité.

2.3. Les stratégies d'apprentissage

Deux contributions s'intègrent dans la thématique des stratégies d'apprentissage. La première décrit des stratégies mises en place par les apprenants dans des laboratoires virtuels et distants dédiés à l'apprentissage de l'informatique. La seconde interroge la résolution collaborative de problèmes dans l'apprentissage collaboratif à distance et plus particulièrement la place des émotions ressenties.

L'article de Rémi Venant, Kshitij Sharma, Philippe Vidal, Pierre Dillenbourg et Julien Broisin identifie des stratégies d'apprentissage mises en place par les apprenants dans un contexte de formation universitaire en informatique. L'objectif de cette étude est d'aider les enseignants à comprendre les activités menées par les apprenants dans des laboratoires virtuels et distants en cours d'informatique.

Par la fouille de motifs séquentiels, l'étude mise en place appréhende les liens entre le comportement des apprenants en situation de travail pratique et leur performance académique.

Les résultats, d'une part, présentent différentes stratégies d'apprentissage dont certaines sont corrélées à la performance académique des apprenants et, d'autre part, soulignent la nécessité d'implanter de nouveaux outils de suivi et de guidage des apprenants dans l'environnement. Un des nouveaux objectifs est de proposer un modèle prédictif visant la prévention des échecs des étudiants.

Enfin, les travaux menés par Sunny Avry, Guillaume Chanel, Mireille Bétrancourt, Thierry Pun et Gaëlle Molinari portent sur la caractérisation de la relation entre les émotions et la résolution collaborative de problèmes à distance/médiatisée par ordinateur.

L'hypothèse est que les émotions ressenties sont corrélées à la performance des participants. Plus particulièrement, les auteurs créent des feedbacks biaisés (de contrôle et de valeur), afin d'influencer l'évaluation émotionnelle des apprenants/joueurs. Ils étudient les relations entre émotions liées aux contrôle et valeur perçus, processus socio-cognitifs et performance.

Globalement, les résultats mettent au jour que le contrôle et la valeur perçus génèrent différents patterns de corrélations entre émotions et

processus socio-cognitifs. L'intensité des émotions ressenties corrèle également à la performance réelle des participants.

3. Conclusion

Pour ce numéro spécial EIAH 2017, certains articles posent et interrogent des indicateurs (facteurs motivationnels et émotionnels pour S. Avry *et al.*, indicateurs d'engagement pour R. Carrillo *et al.*, données d'inscription pour M. Cisel). Pour d'autres, des préconisations sont formulées au niveau de la démarche de conception des EIAH (l'usage d'un cadre méthodologique pour M. Muratet *et al.*, des éléments déclinables en objets informatiques pour M. Vermeulen *et al.*, des situations-dilemmes pour A. Benabbou *et al.* et l'usage de QR codes pour G. Temperman *et al.*). Pour d'autres enfin, l'enjeu est d'analyser des pratiques apprenantes dans des environnements nouveaux (comme celui proposé par l'article de R. Venant *et al.*) pour prévenir l'abandon et le découragement.

Nous retrouvons là à la fois des questions abordées régulièrement par la communauté EIAH (à savoir l'approche d'indicateurs permettant d'analyser des pratiques enseignantes, de mettre en lumière des stratégies d'apprentissage et de proposer des préconisations pour la conception/l'usage des EIAH), mais également des questions émergentes liées à la mise en place de nouveaux dispositifs de formation (laboratoires virtuels et distants) et à la prise en compte de l'émotion et du ressenti chez les acteurs impliqués dans le processus d'enseignement et/ou d'apprentissage.



Un modèle de génération de dilemmes de prohibition et d'obligation en environnement virtuel

► **Azzeddine BENABBOU, Domitile LOURDEAUX, Dominique LENNE** (Sorbonne université, Université de technologie de Compiègne, CNRS UMR 7253 Heudiasyc)

■ **RÉSUMÉ** • Dans le cadre du projet Maccoy Critical, nous souhaitons former les apprenants à la gestion des situations critiques telles que les dilemmes. Un dilemme correspond à une situation où il n'existe pas de bonne solution, c'est-à-dire à une situation qui mène à des conséquences négatives dans tous les cas. Notre objectif est d'utiliser des modèles de connaissances pour en extraire les propriétés nécessaires à l'émergence de dilemmes. Notre approche consiste pour cela à développer un système de scénarisation capable de générer des dilemmes sans avoir à les écrire à l'avance. Dans cet article nous présentons cette approche et exposons une preuve de concept appliquée à la conduite automobile.

■ **MOTS-CLÉS** • scénarisation, modèle de connaissances, dilemme, situation critique

■ **ABSTRACT** • *Under the project Maccoy Critical, we would like to train individuals, in virtual environments, to handle critical situations such as dilemmas. These latter refer to situations where there is no "good" solution. In other words, situations that lead to negative consequences whichever choice is made. Our objective is to use Knowledge Models to extract necessary properties for dilemmas to emerge. To do so, our approach consists in developing a Scenario Orchestration System that generates dilemma situations dynamically without having to write them beforehand. In this paper we present this approach and expose a proof of concept of the generation process.*

■ **KEYWORDS** • *scenario Orchestration, knowledge model, dilemma, critical situation*

1. Introduction

Il arrive lors de certains évènements de la vie professionnelle que des agents soient confrontés à des situations critiques. Celles-ci sont définies comme étant des situations dynamiques et complexes où des facteurs tant internes (état de fatigue, manque de concentration) qu'externes (conditions climatiques dégradées, incompétences des collègues) à l'individu font qu'elles s'écartent des situations a priori maîtrisées. Pour gérer ce genre de situations, et éviter par la suite des conséquences parfois désastreuses, il est nécessaire d'entraîner les agents concernés à réagir dans ce type de situations. Ils doivent être confrontés pour cela à une variété de scénarios où ils devront comprendre leur environnement et agir, parfois en urgence, développant ainsi les compétences nécessaires.

1.1. Les environnements virtuels pour la formation

La production de situations d'entraînement n'est pas toujours évidente. En effet, la dangerosité, le manque de ressources et les problèmes d'accessibilité font que les scénarios ne sont pas toujours reproductibles en conditions réelles. La réalité virtuelle peut pallier ce problème en offrant des outils et des techniques de simulation permettant d'immerger les personnes dans des environnements virtuels fidèles aux situations réelles. Elle permet un apprentissage situé et constructiviste : l'apprenant restructure ses connaissances par l'expérience, par la confrontation à des situations variées, nouvelles et plus ou moins courantes. Elle permet de le confronter à des situations d'un niveau de criticité variable en fonction de ses actions et de son profil. Ces situations doivent être suffisamment difficiles tout en restant abordables. Elles doivent permettre de confronter les compétences acquises, mais aussi de mettre en jeu des compétences nouvelles et proches de celles acquises pour favoriser le développement (Vygotsky, 1978). Pour supporter ce type d'apprentissage, il est nécessaire de générer un large spectre de scénarios. L'écriture de tels scénarios est un travail important qui conduit, lors du passage à l'échelle, à ce qu'on appelle l'*Authoring Bottleneck* (Spierling et Szilas, 2009). Il est alors nécessaire de mettre en place des systèmes de scénarisation permettant de créer des environnements adaptables, sans avoir à définir explicitement l'intégralité des scénarios possibles. Pour conserver la liberté d'action de l'utilisateur et assurer l'adaptabilité des scénarios, nous étudions l'hypothèse qu'il est possible de générer dynamiquement et automatiquement des situations critiques à partir de modèles de connaissances qui sous-tendent la simulation. Nous nous intéressons au processus de scénarisation de

situations critiques en environnement virtuel. La scénarisation est un processus comprenant à la fois la spécification du ou des déroulements possibles ou souhaitables de la simulation, et le contrôle (exécution et/ou suivi et correction) du déroulement des événements en temps interactif. Un système de scénarisation est composé d'un ou plusieurs langages de scénarisation permettant de modéliser le contenu scénaristique et/ou les objectifs scénaristiques, et d'un moteur de scénarisation permettant de gérer de manière dynamique la réalisation du scénario (Barot, 2014).

1.2. Contexte et objectifs

Ces travaux de recherche s'intègrent dans le cadre du projet national Maccoby Critical (Burkhardt *et al.*, 2016) dont l'objectif est l'étude et l'amélioration des dispositifs de simulation et de réalité virtuelle pour la formation. En particulier, nous nous intéressons à la génération de situations critiques. Le but est de confronter les apprenants à ces situations afin de leur faire acquérir des compétences non-techniques. Parmi ces situations, on trouve les dilemmes. Un dilemme est une situation où l'individu est dans « *l'obligation de choisir entre deux partis qui comportent l'un et l'autre des inconvénients* »¹. Dans la vie réelle, ces situations sont rencontrées quotidiennement dans différents domaines. Nous nous intéressons à la médecine et à la conduite automobile. En médecine, les infirmières sont confrontées quotidiennement à des dilemmes éthiques. Dans son article, Lecomte (2006) explique pourquoi les infirmières devraient avoir une réflexion éthique. Elle cite en exemple le fait de pouvoir garder une vue holistique de la personne, d'être capable de négociation et de compromis, mais aussi de prendre de la distance et d'avoir un autre regard pour prendre des décisions. Les dilemmes sont aussi présents dans d'autres domaines.

En conduite automobile, le cas de figure le plus célèbre est celui où le conducteur doit choisir entre percuter des piétons ou se sacrifier lui-même ainsi que ses passagers. Ce dilemme fait l'objet de plusieurs études comme celle de Bonnefon, Shariff et Rahwan (2016) dont l'objectif est d'étudier et de déterminer quel comportement un véhicule autonome devrait adopter dans ce cas-là.

1 Version en ligne du dictionnaire Larousse (année 2018).

La conception d'environnements virtuels pour l'entraînement ne concerne pas que les informaticiens auteurs des logiciels de simulation. Elle implique aussi d'autres personnes à savoir des ergonomes, des formateurs, des experts du domaine, etc. Généralement, ces personnes manipulent des modèles de connaissances différents et spécifiques à leur domaine d'expertise (p. ex. modèle de tâches, modèle du monde). Notre objectif est de concevoir un système de scénarisation capable de raisonner sur ces différents modèles afin de faire émerger des dilemmes.

2. État de l'art

2.1. Les dilemmes en simulation

Plusieurs travaux de l'Institute for Creative Technologies (ICT) (Rickel *et al.*, 2002) implémentent le scénario suivant : jouant le rôle d'un lieutenant de l'armée américaine, l'utilisateur doit venir en renfort à un peloton en difficulté. Pendant le trajet, le lieutenant et sa troupe passent par un village où ils croisent un garçon blessé en situation critique. Un véhicule de la troupe du lieutenant est impliqué dans l'accident. Par conséquent, le lieutenant est confronté à l'alternative suivante : poursuivre son chemin pour venir en renfort à son peloton ou sécuriser une zone d'atterrissage pour permettre à un hélicoptère médical de se poser et venir en secours au garçon blessé. D'autres travaux, notamment ceux de Grath et Marsela (2004) se sont intéressés à la modélisation du comportement émotionnel d'un médecin face au cas médical classique de l'accompagnement des mourants par l'administration de médicaments. Dans le scénario présenté, le médecin souhaite prolonger le plus possible la vie de son patient âgé de 11 ans. La famille du patient quant à elle pourrait s'opposer à cette décision à cause de la souffrance que le patient va devoir endurer. Que fera le médecin dans ce cas-là ? Céder aux exigences de la famille ou ignorer leur décision et accomplir son devoir ?

Dans la littérature, nous trouvons aussi un ensemble de travaux sur le célèbre dilemme du tramway. Dans sa version originale, énoncé par Foot (1967), un tramway dont les freins sont défectueux roule sur la voie A et se dirige droit sur cinq ouvriers. La seule issue possible est d'actionner un levier pour dévier le tramway de sa trajectoire initiale pour le rediriger vers la voie B où se trouve un seul ouvrier. Que faire dans ce cas ? Sacrifier la personne sur la voie B pour sauver les cinq ou ne pas intervenir et laisser le tramway suivre son chemin ? Ce dilemme et ses variantes ont fait l'objet de plusieurs études sur papier (Hauser, Cushman, Young, Jin et

Mikhail, 2007) et en environnements virtuels (Navarrete, McDonald, Mott, et Asher, 2012 ; Skulmowski, Bunge, Kaspar et Pipa, 2014).

Dans les travaux cités jusqu'ici, l'approche adoptée pour la construction des dilemmes est dite « scriptée », c'est-à-dire, que l'écriture des situations par les auteurs se fait à l'avance, en amont de l'exécution de la simulation. À l'opposé, nous trouvons les approches génératives, qui consistent à générer dynamiquement des dilemmes au fur et à mesure qu'on avance dans la simulation. À notre connaissance, GADIN (Barber et Kudenko, 2007) est le seul système de l'état de l'art qui adopte une telle approche. GADIN est un moteur narratif interactif, qui confronte l'utilisateur, au fur et à mesure qu'il avance dans l'histoire, à des situations de dilemmes en utilisant des techniques de planification. L'histoire évolue en fonction des décisions de l'utilisateur face à ces dilemmes. Afin de les générer, les auteurs proposent cinq catégories identifiées selon les conséquences qu'aura l'action de l'utilisateur sur lui-même, ses amis et/ou ses ennemis : « Trahison », « Sacrifice », « Bien commun », « Mal commun » et « Faveur ».

2.2. Positionnement

L'approche scriptée permet de décrire en amont, d'une manière fine et précise, les dilemmes à présenter à l'utilisateur. L'utilisation de cette approche est pertinente lorsqu'il s'agit d'expérimentations en sciences humaines ou d'entraînement à des scénarios bien spécifiques qui ne nécessitent pas une variété de situations. Cependant elle reste non adaptée à nos besoins d'entraînement en situations critiques. En effet, nous souhaitons confronter l'apprenant à un ensemble de dilemmes qui varient en fonction des consignes pédagogiques. La nécessité d'une variabilité de situations ainsi que le besoin d'une liberté d'action de l'utilisateur dans l'environnement virtuel rendent difficiles voire impossible l'écriture exhaustive de tous les dilemmes possibles. Pour remédier à ce problème, GADIN propose une approche générative. Cependant, ce système souffre de deux limites majeures. Premièrement, la liberté d'action de l'utilisateur est réduite. En effet, face aux situations, une boîte de dialogue s'offre à l'utilisateur où il peut choisir de faire ou ne pas faire une action. Deuxièmement, toutes les catégories proposées dépendent nécessairement des relations sociales (amis ou ennemis) qu'entretient l'utilisateur avec les autres personnages. Il est donc impossible de générer un dilemme si l'utilisateur est seul dans l'environnement ou lorsqu'il n'entretient pas de relations particulières avec les autres personnages.

À l'instar de GADIN, l'approche que nous proposons permet de générer dynamiquement des dilemmes sans avoir à les écrire en amont. Elle permet d'ajuster la criticité au fur et à mesure de la simulation, et donc d'adapter la nature des dilemmes à présenter, en fonction des actions de l'utilisateur et de son profil. Par ailleurs, elle repose sur une modélisation plus large des dilemmes qui ne se restreint pas aux relations sociales qu'entretient l'utilisateur avec les autres personnages.

3. Modélisation d'un dilemme

3.1. Définitions

Un dilemme est défini comme une situation où il n'existe pas de bonne solution. C'est une situation où l'individu est confronté à un choix difficile, sacrifiant, mettant en conflit dans certains cas, ses valeurs. Ce genre de situations peut être identifié par un humain. Par conséquent, un formateur, disposant d'une interface appropriée, pourrait facilement identifier une situation dilemmatique et la proposer à l'apprenant durant sa session d'entraînement. Cependant dans le cadre d'une approche de scénarisation dynamique, ce processus d'identification et de sélection de situations doit se faire automatiquement par un système informatique. Ce type d'approche soulève les questions suivantes :

- Comment modéliser informatiquement un dilemme ?
- Comment construire une sémantique associée ?
- Comment permettre à un moteur de scénarisation de générer dynamiquement un dilemme à partir de cette sémantique ?

La définition du Larousse, évoquée plus haut, met l'accent sur une propriété importante à laquelle répondent les situations dilemmatiques : les conséquences sont toujours négatives quel que soit le choix. Certains auteurs (Vallentyne, 1989) font une distinction entre les « *Obligation Dilemmas* » (que nous appellerons dilemmes d'obligation) et les « *Prohibition Dilemmas* » (que nous appellerons dilemmes de prohibition). Le premier type fait référence aux situations où toutes les actions sont obligatoires mais ne peuvent pas être toutes réalisées. Le deuxième type se réfère aux situations où toutes les actions sont prohibées mais au moins l'une d'entre elle doit être réalisée.

3.2. Conditions nécessaires

Dans les dilemmes d'obligation, la condition que doit satisfaire la situation est la suivante : les actions ne peuvent pas toutes être réalisées. Autrement dit, le choix présenté à l'agent doit être exclusif. En effet, si

l'agent a la possibilité de réaliser toutes les actions, sans retombées négatives, le dilemme serait compromis. L'enjeu d'un système de scénarisation est de pouvoir prescrire un état du monde qui garantit cette condition. Pour ce faire, nous proposons de raisonner sur la contradiction entre les actions. Deux actions sont considérées contradictoires si elles sont incompatibles quand il faut les réaliser simultanément (p. ex. « avancer » et « reculer », « augmenter » et « diminuer »). Ceci permet de garantir que l'agent, lors de son choix face à une alternative, ne puisse pas choisir les deux issues.

Dans les dilemmes de prohibition, la condition nécessaire est que l'agent est obligé de réaliser au moins une action. L'enjeu pour un système de scénarisation est de pousser l'agent à faire un choix alors que chacune des actions a des conséquences négatives. Lorsque les actions sont prohibées, la seule issue positive pour l'agent serait de ne rien faire. Afin de garantir le dilemme, il faut écarter cette possibilité positive. Il faut donc que le non-choix conduise également à des conséquences négatives.

3.3. Formalisation

3.3.1. Dilemme d'obligation

Soit a_1 et a_2 deux actions qu'un agent AG peut réaliser. Pour certaines raisons, AG doit réaliser a_1 . En d'autres termes, ne pas faire a_1 conduit à des conséquences négatives NC (présentées dans 3.4). Pour d'autres raisons, AG doit réaliser a_2 . En d'autres termes, ne pas faire a_2 conduit à des conséquences négatives. La condition nécessaire dans un dilemme d'obligation est que l'agent peut réaliser soit l'action a_1 , soit l'action a_2 , mais pas les deux. Par conséquent, S est une situation de dilemme d'obligation si :

$$\begin{array}{l} \neg a_1 \xrightarrow{\text{Leads to}} NC_{\neg a_1} \\ \neg a_2 \xrightarrow{\text{Leads to}} NC_{\neg a_2} \\ (a_1 \vee a_2) \wedge \neg(a_1 \wedge a_2) \end{array}$$

3.3.2. Dilemme de prohibition

Soit a_1 et a_2 deux actions qu'un agent AG peut réaliser. Pour certaines raisons, AG ne doit pas réaliser a_1 . En d'autres termes, faire a_1 conduit à des conséquences négatives NC (présentées dans 3.4). Pour d'autres raisons, AG ne doit pas réaliser a_2 . En d'autres termes, faire a_2 conduit à des

conséquences négatives. La condition nécessaire dans un dilemme de prohibition est que, malgré cela, l'agent doit réaliser au moins une action. Par conséquent, le non-choix (ne pas faire a_1 et ne pas faire a_2) conduit également à des conséquences négatives. S est alors une situation de dilemme de prohibition si :

$$\begin{array}{l} a_1 \xrightarrow{\text{Leads to}} NC_{a_1} \\ a_2 \xrightarrow{\text{Leads to}} NC_{a_2} \\ \neg a_1 \wedge \neg a_2 \xrightarrow{\text{Leads to}} NC_{\neg a_1 \wedge \neg a_2} \end{array}$$

3.4. Conséquences négatives

Dans le cadre de nos travaux, les conséquences négatives ne se résument pas seulement aux dommages causés suite à la réalisation d'une action. Elles incluent également d'autres types de conséquences. Nous distinguons en effet des conséquences négatives en termes de :

- Gravité : nombre de victimes, degré des blessures et/ou dégâts matériels (p. ex. percuter un piéton, un arbre ou un autre véhicule) ;
- Violations : infractions de code, atteinte aux valeurs morales, non-respect des normes, règles et instructions (p.ex. griller un feu rouge, désobéir à un supérieur) ;
- Perte de points : perte de points de performance, diminution du score (p. ex. perte de points de permis).

4. Architecture

Le système de scénarisation que nous proposons est intégré au sein de la plateforme logiciel HUMANS (Lourdeaux *et al.*, 2017). Il est composé d'un moteur de génération et d'un moteur de planification. Le premier est responsable de la génération des dilemmes. Il reçoit en entrée une consigne pédagogique de la part du module de diagnostic de l'apprenant. Cette consigne est composée (1) d'une intention pédagogique, comme vérifier, renforcer ou déstabiliser une compétence et (2) d'un degré de criticité. Elle est transformée ensuite en objectifs scénaristiques qui sont transmis au moteur de planification. Ce dernier est chargé d'identifier les ajustements scénaristiques adéquats, afin de diriger la simulation vers un état du monde qui répond aux objectifs scénaristiques donnés en entrée. Ces deux précédents modules communiquent avec un gestionnaire du monde qui est responsable de la mise à jour de l'état du monde. Il est

également chargé de notifier l'environnement virtuel de tout changement dans le monde, afin de déclencher les comportements visuels correspondants. L'ensemble des modules du système de scénarisation manipule des modèles de connaissances que nous détaillons dans la prochaine section. Le schéma présenté en figure1 illustre cette architecture.

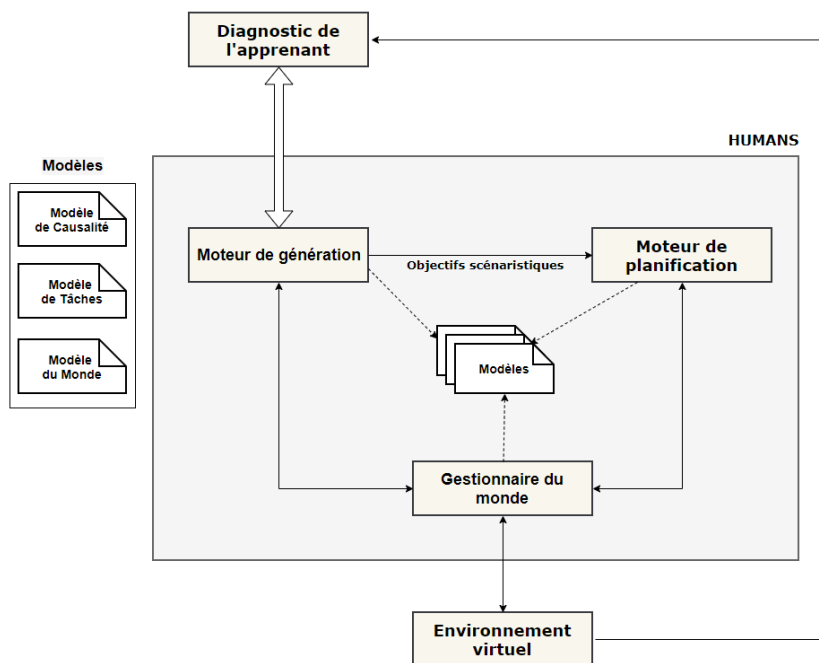


Figure 1 • Architecture globale

5. Modèles de connaissances

La conception d'environnements virtuels pour l'entraînement n'est pas du ressort des informaticiens seulement. C'est une tâche collective qui mobilise différentes personnes à savoir des formateurs, des ergonomes, des experts, etc. qui ne sont pas nécessairement informaticiens. Par conséquent, les connaissances spécifiques au domaine (p. ex. les objets, leurs propriétés, les actions) doivent être séparées de la représentation dans l'environnement virtuel 3D. Cette modularité facilite la conception collective de la simulation et permet aux experts de manipuler des outils et des modèles adaptés à leur domaine d'expertise. Nous pensons qu'au

minimum trois modèles sont nécessaires, qu'ils soient considérés comme des vues d'un modèle central ou qu'ils soient des modèles distincts indépendants, l'essentiel c'est qu'ils doivent permettre de renseigner trois catégories majeures de connaissances : des connaissances sur le monde, des connaissances sur les tâches mais aussi des connaissances sur la causalité des événements – principalement lorsqu'il s'agit d'entraînement aux situations à risques. Ces connaissances peuvent être complétées par des connaissances pédagogiques et/ou didactiques. Celles-ci sont principalement utilisées par le module du diagnostic de l'apprenant qui est géré par nos partenaires dans le projet. Ce module ainsi que ces connaissances ne sont pas l'objet de cet article.

5.1. Modèle du monde

Le modèle du monde est destiné à être rempli par les experts du domaine qui ne sont pas nécessairement des informaticiens. Il doit donc être intelligible tout en étant interprétable par un système informatique. Ce modèle doit en plus offrir une large expressivité. Il doit permettre de renseigner les objets du monde, leurs propriétés ainsi que les relations entre eux, et de raisonner à différents niveaux d'abstraction, afin de permettre une plus grande variabilité de situations. Pour répondre à ces besoins, notre modèle s'appuie sur une représentation ontologique qui permet d'interroger la base de connaissances du monde afin d'extraire des informations pertinentes pour la scénarisation (p. ex. quels sont tous les feux de circulation qui se trouvent, au plus, à un rayon de 100m du véhicule de l'apprenant ?). Ces connaissances peuvent être couplées à des règles de fonctionnement pour permettre de gérer dynamiquement l'évolution du monde. Un exemple de modèle du monde est illustré dans la figure 2.

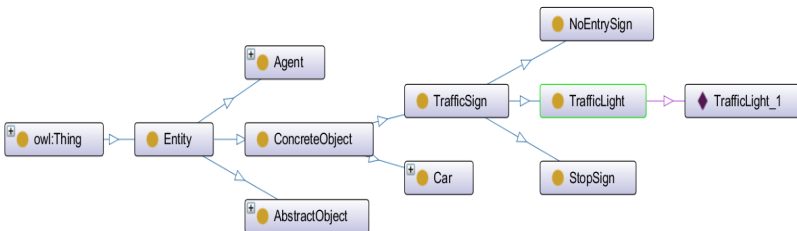


Figure 2 • Fragment d'un modèle du monde

5.2. Modèle de tâches

Le modèle de tâches est destiné à être rempli par des experts ergonomes. Par conséquent, il est utile qu'il repose sur une représentation qui opérationnalise des principes issus de langages utilisés en ergonomie cognitive (Sebillotte et Scapin, 1994 ; van der Veer, Lenting et Bergevoet, 1996). Par exemple, dans certaines représentations hiérarchiques, les tâches mères sont composées de sous-tâches filles sur plusieurs niveaux. Ces dernières sont liées par des constructeurs qui permettent de renseigner les relations logiques et temporelles entre elles. Les tâches peuvent avoir des préconditions et des postconditions exprimées, par exemple, par des agrégats d'assertions sur le monde sous la forme (*sujet prédicat objet*). Cette formulation nous paraît très pertinente pour un couplage avec une représentation ontologique du monde. Certaines représentations distinguent, entre autres, les préconditions contextuelles et les préconditions favorables. Les premières sont les conditions qui rendent pertinente la réalisation de la tâche. Les dernières sont les conditions qui rendent la réalisation de la tâche préférable à d'autres. Les postconditions, quant à elles, appelées aussi conditions de satisfaction, renseignent sur l'état que le monde doit satisfaire pour qu'une tâche soit considérée comme réalisée. ACTIVITY-DL (Barot, 2014) est un langage qui regroupe les caractéristiques citées précédemment. C'est celui que nous utilisons dans le cadre de nos travaux. La figure 3 montre une partie d'un modèle, représenté par ACTIVITY-DL, qui décrit une tâche « gérer feu rouge » composée de deux sous-tâches.

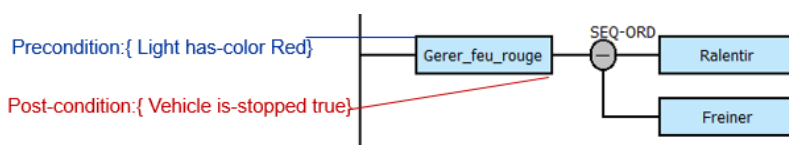


Figure 3 • Fragment d'un modèle d'activité

5.3. Modèle de causalité

Le modèle de causalité est inspiré du formalisme des nœuds papillons (Debray, Chaumette, Descouriere et Trommeter, 2006) utilisé en analyse de risques. C'est un graphe acyclique et orienté qui exprime les chaînes de causalité pertinentes de l'environnement. Les nœuds du graphe font référence aux événements. Ils sont reliés entre eux par des liens de subsomption ou de causalité. Ceci permet de déduire les chaînes de causalité qui mènent aux conséquences négatives décrites dans la sous-

section 3.4. Ils peuvent être étiquetés par tout type d'information pertinente. En analyse de risque par exemple, on s'intéresse au degré de gravité et/ou à la fréquence d'occurrence des événements (p.ex. gravité=2). Le modèle est aussi composé de connecteurs logiques « ET » et « OU » qui permettent aux auteurs de renseigner des événements causés par plus d'un événement. Par exemple, un « Accident » est causé par les événements « Véhicule roulant à grande vitesse » ET « Piéton qui traverse soudainement ». Aussi, un « Retrait de point permis » peut être causé par les événements « Griller un feu rouge » OU « Dépassement de vitesse autorisée ». Pour empêcher le déclenchement de certains événements, il existe des barrières de prévention. En effet, le déclenchement d'un événement est conditionné par la non-réalisation des barrières qui le précèdent, si elles existent. Ces barrières sont tout simplement des actions ou tâches du modèle de tâches. Pour bien comprendre ce modèle et ses éléments, nous proposons l'exemple présenté dans la figure 4. Dans cet exemple, une « Violation du code de la route » est causé soit par « Griller un feu rouge », soit par « Griller un stop ». Ces deux événements risquent de se produire lorsque, l'apprenant s'approche, respectivement, du feu rouge ou du stop. Pour empêcher leur déclenchement, il peut activer les barrières correspondantes : « S'arrêter » ou « Marquer un temps d'arrêt ».

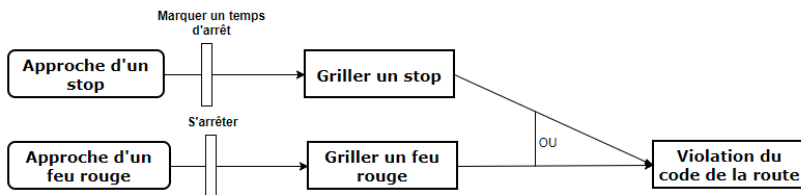


Figure 4 • Fragment d'un modèle de causalité

6. Génération de dilemmes

Nous avons décrit plus haut les différents types de dilemmes ainsi que les conditions que ces types doivent satisfaire. Par ailleurs, nous avons présenté les différents modèles de connaissances utilisés par le système de scénarisation. Dans cette section, nous détaillons les différentes étapes de génération illustrées dans la figure 5. Nous expliquons comment le moteur de génération utilise ces domaines de connaissances, afin d'extraire les propriétés nécessaires et de permettre par conséquent l'émergence de dilemmes.

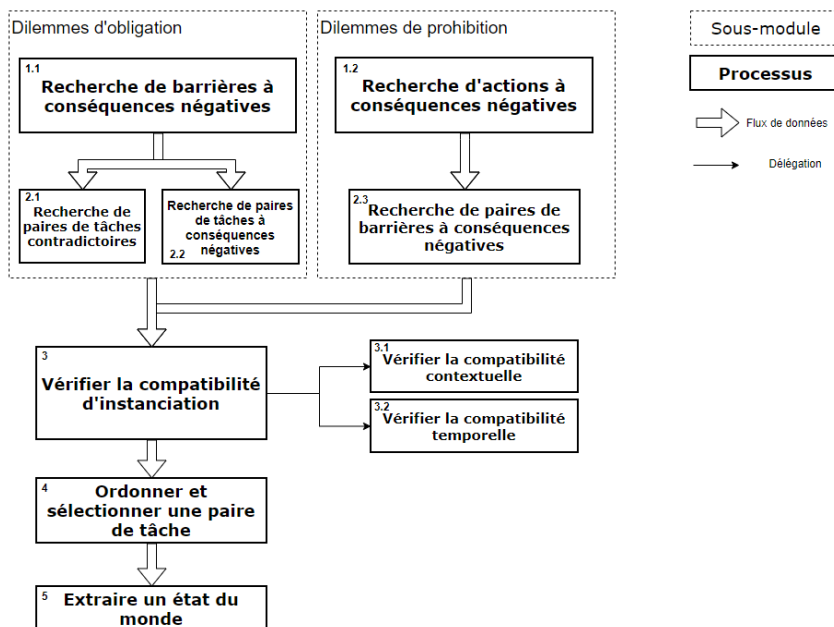


Figure 5 • Étapes de génération de dilemmes

6.1. Recherche d'actions/barrières à conséquences négatives

Pour la génération des dilemmes d'obligation, nous nous intéressons aux actions dont la non-réalisation conduit à des conséquences négatives. Cela correspond exactement à la définition d'une barrière dans le modèle de causalité. En effet, si une barrière n'est pas réalisée par l'agent, elle déclenche ses événements postérieurs. Par conséquent, rechercher les actions dont la non-réalisation conduit à des conséquences négatives revient à rechercher les barrières dont les événements postérieurs conduisent aux nœuds « Gravité », « Violations » et/ou « Points » (1.1). Pour garantir que ces conséquences puissent se déclencher, il ne doit pas y avoir d'autres barrières entre celle choisie et les nœuds conséquence, sinon l'agent pourrait éviter les conséquences négatives en activant l'une d'entre elles. Dans l'exemple présenté dans la figure 6, la barrière b_1 est écartée car ses événements postérieurs ne mènent pas à des conséquences négatives. La barrière b_3 est également écartée car il existe une barrière entre elle et le nœud « Violations ». Au final, seules les barrières b_2 et b_4 sont retenues, car leurs événements postérieurs conduisent à des nœuds

de conséquences négatives sans qu'il y ait aucune autre barrière dans le chemin qui mène à ces nœuds.

Pour générer les dilemmes de prohibition, nous nous intéressons à l'identification des actions dont la réalisation conduit à des conséquences négatives (1.2). Pour cela, nous recherchons toutes les actions qui sont liées aux nœuds « Gravité », « Violations » et/ou « Points ». Pareillement, il ne doit pas y avoir de barrière entre le nœud action et le nœud conséquence pour la raison évoquée plus haut. Dans l'exemple présenté dans la figure 6, est écartée car il existe une barrière entre elle et le nœud conséquence.

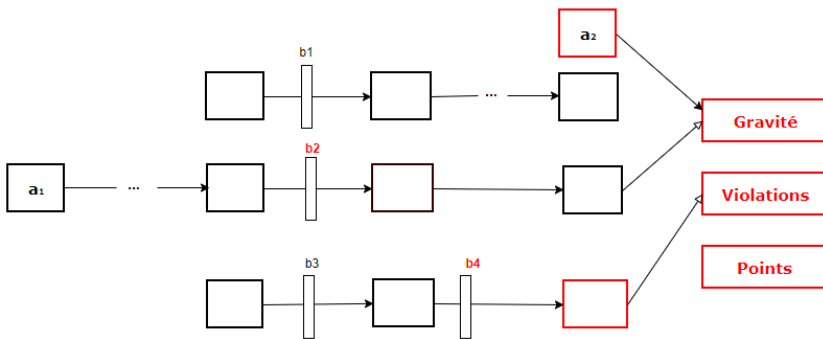


Figure 6 • Sélection d'actions et de barrières

6.2. Recherche de paires de tâches contradictoires (dilemme d'obligation)

L'extraction des paires de tâches potentiellement contradictoires (2.1) se fait grâce au modèle de tâches selon l'algorithme 1 (figure 7). Le moteur de génération scanne, par paires, l'ensemble des barrières sélectionnées (tâches qui conduisent à des conséquences négatives si elles ne sont pas réalisées). Pour chaque paire, il examine les postconditions (conditions de satisfaction). Si elles sont incompatibles, alors la paire est nomologiquement incompatible (*i.e.* opposée par nature, p. ex. augmenter/diminuer). Nous considérons que deux conditions sont incompatibles si, pour le même couple (sujet prédicat), l'objet est différent (p. ex. « *Vehicle is-stopped true* » et « *Vehicle is-stopped false* »). Cet algorithme est généralisable à n tâches. Le système utilise dans ce cas une liste de tâches contradictoires au lieu de paires.

```

Algorithme 1 : Recherche d'actions contradictoires
Function fetchContradictoryActions(Tasks  $\subset$  Barriers)
Begin
  PCT  $\leftarrow$  {} /* Ensemble des tâches contradictoires*/
  For all t1  $\in$  Tasks do
    For all t2  $\in$  Tasks do
      If ( t1.postCondition.subject = t2.postCondition.subject and
          t1.postCondition.predicate = t2.postCondition.predicate and
          t1.postCondition.object  $\neq$  t2.postCondition.object )
        If {t1,t2}  $\notin$  PCT then
          PCT  $\leftarrow$  PCT  $\cup$  {{t1,t2}}
  Return PCT;
    
```

Figure 7 • Algorithme de recherche d'actions contradictoires

6.3. Recherche de paires de barrières à conséquences négatives (dilemme de prohibition)

La condition nécessaire dans un dilemme de prohibition est que l'agent doit choisir au moins une action. Nous avons expliqué que pour pousser l'apprenant à choisir il faudrait que le non-choix soit pénalisant aussi. En d'autres termes, ne réaliser aucune action conduirait aussi à des conséquences négatives. Pour identifier ce genre d'actions, le moteur de génération utilise le modèle de causalité. Il recherche les barrières qui sont liées par des portes « AND » (2.3) suivant l'algorithme 2 (figure 8).

```

Algorithme 2 : Recherche de barrières qui mènent à des conséquences négatives
Function fetchBarriersConnectedWithAND(Barriers)
Begin
  PB  $\leftarrow$  {} /* Ensemble des paires de barrières */
  For all b1  $\in$  Barriers do
    For all b2  $\in$  Barriers do
      If ( {"AND"}  $\in$  CommonDescendant(b1,b2) )
        PB  $\leftarrow$  PB  $\cup$  {{b1,b2}}
  Return PB;
End
    
```

Figure 8 • Algorithme de recherche de barrières qui mènent à des conséquences négatives

6.4. Vérification de la compatibilité d'instanciation

Afin de garantir que le système de scénarisation puisse instancier une situation mettant en jeu une paire de tâches, ces dernières doivent être contextuellement compatibles (3.1). C'est-à-dire qu'elles doivent disposer

de préconditions compatibles. Considérons par exemple les tâches « Ouvrir Porte » et « Fermer Porte » dont les préconditions sont respectivement « *Door is-open false* » et « *Door is-open true* » et dont les postconditions sont respectivement « *Door is-open true* » et « *Door is-open false* ». Ces tâches sont nomologiquement incompatibles (analyse des postconditions), par conséquent elles pourraient éventuellement être utilisées pour la génération d'un dilemme ; en revanche, elles sont aussi contextuellement incompatibles (analyse des préconditions). La paire serait donc écartée. En effet, l'instanciation d'une telle situation nécessiterait que la porte soit ouverte et fermée en même temps, ce qui est impossible.

En plus de la compatibilité contextuelle, les paires de tâches doivent satisfaire la compatibilité temporelle (3.2). C'est-à-dire que la réalisation d'une tâche doit être indépendante de l'autre. Dans le modèle de tâches, les tâches sont connectées par les constructeurs temporels de leur tâche parente. Le fait que deux tâches soient liées par un constructeur « séquentiel » implique que la réalisation d'une tâche est une précondition de l'autre. Par conséquent, seules les tâches dont les ancêtres communs ont des constructeurs « parallèle » ou « indépendant » sont maintenues.

6.5. Sélection de paires de tâches

À cette étape, le moteur de génération dispose de deux listes de paires de tâches. L'une correspond aux dilemmes d'obligation, tandis que l'autre correspond aux dilemmes de prohibition. Afin de déterminer les paires de tâches les plus pertinentes (4), le moteur établit un ordre selon un score calculé à partir de plusieurs contraintes. Les paires de tâches les plus pertinentes sont celles qui répondent au mieux aux contraintes pédagogiques, établies par le module du diagnostic de l'apprenant, et aux contraintes scénaristiques, qui sont plutôt liées aux restrictions imposées par l'état actuel du monde. Les contraintes pédagogiques sont définies par :

- une gravité maximale à ne pas dépasser,
- une gravité minimale à respecter,
- une différence de gravité entre les tâches d'une paire (on peut penser que plus cette différence tend vers zéro, plus le dilemme est difficile),
- un type de conséquences si l'on souhaite générer un type spécifique de dilemme, à savoir les dilemmes moraux.

Les contraintes scénaristiques, quant à elles, sont définies par la probabilité d'instanciation des événements (liée à la disponibilité des entités nécessaires au déclenchement des événements), d'une part, et par la temporalité des événements, d'autre part. La paire de tâches idéale est

celle qui répond parfaitement aux deux types de contraintes. En pratique, ce n'est pas toujours le cas. Par conséquent, parfois on peut vouloir qu'un dilemme réponde absolument aux contraintes pédagogiques même si les chances qu'il soit effectivement instanciable sont infimes. À l'inverse, on peut vouloir qu'un dilemme soit absolument instanciable même s'il ne répond pas exactement aux contraintes pédagogiques. Pour permettre de telles préférences, il est possible d'attribuer un poids à chaque type de contraintes par le formateur ou automatiquement par le module de diagnostic de l'apprenant. À partir de ces poids, et selon les tâches de chaque paire, un score est calculé et attribué pour chacune d'elle. Ce score permet d'ordonner les paires de tâches, et par conséquent de proposer les dilemmes les plus pertinents et les plus satisfaisants vis-à-vis des contraintes pédagogiques et scénaristiques.

7. Preuve de concept

L'approche décrite dans cet article a fait l'objet d'une première implémentation en environnement virtuel. Nous avons développé une première version de notre système de scénarisation ainsi qu'un environnement virtuel pour la conduite automobile (figure 9) en utilisant le moteur de rendu Unity3D (<https://unity3d.com/fr>). L'environnement 3D est composé de bâtiments, de panneaux de signalisation, des feux de circulation ainsi que des agents autonomes (véhicules et piétons). Le joueur contrôle un véhicule en première personne en utilisant une configuration clavier-souris ou en utilisant un kit volant-pédale adapté.



Figure 9 • Capture d'écran de l'environnement

Pour cette version du système nous avons utilisé le modèle de tâches illustré dans la figure 10. Le modèle est volontairement simplifié pour des raisons de clarté. Il décrit trois tâches indépendantes :

« *Handle_aquaplaning* », « *Handle_red_light* » et « *Handle_stop* ».

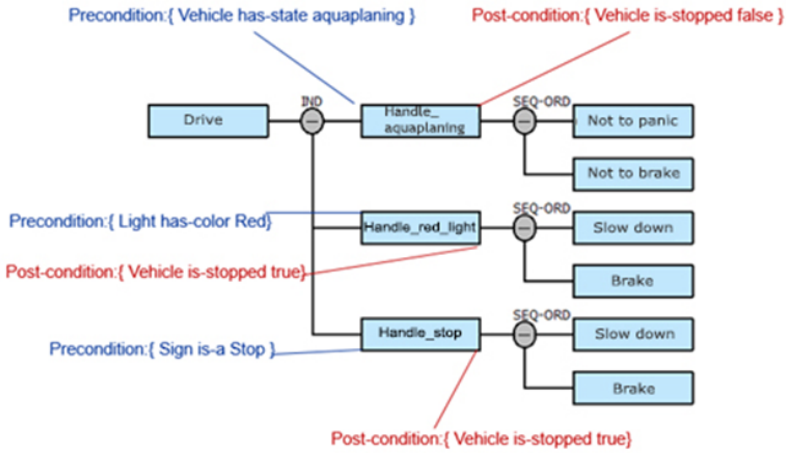


Figure 10 • Modèle de tâches

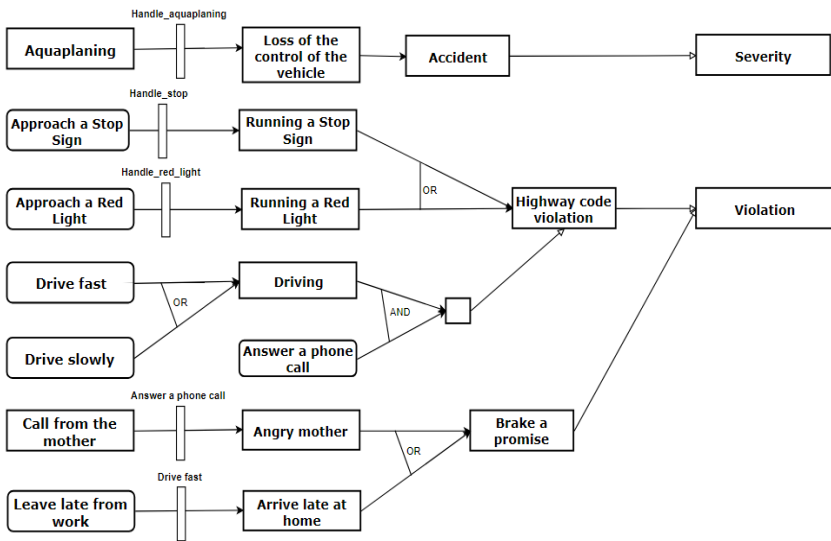


Figure 11 • Modèle de causalité

Nous avons aussi utilisé le modèle de causalité illustré dans la figure 11. Il décrit un ensemble d'événements comme par exemple « *Running a Stop Sign* » et « *Running a Red Light* » qui conduisent à un « *Highway Code Violation* ». Ce dernier peut aussi être causé par les nœuds « *Driving* » et « *Answer a phone call* ».

Les différentes étapes de l'exécution de l'algorithme de génération de dilemme (figure 5) sont détaillées ci-dessous.

Étape 1.1 : détermination des barrières avec des conséquences négatives (dilemmes d'obligation)

D'après le modèle de causalité, les barrières qui, si elles ne sont pas activées, pourraient mener à des conséquences négatives sont *"Handle_stop"*, *"Handle_red_light"*, *"Handle_aquaplaning"*, *"Answer a phone call"* et *"Drive fast"*.

Étape 1.2 : détermination des actions avec des conséquences négatives (dilemmes de prohibition)

D'après le modèle de causalité, les actions qui pourraient mener à des conséquences négatives sont *"Approach a Stop sign"*, *"Approach a Red light"*, *"Drive fast"*, *"Drive slowly"*, *"Answer a phone call"* et *"leave late from work"*. Les deux premières sont écartées car il existe des barrières entre elles et le nœud conséquence.

Étape 2.1 : détermination des paires de tâches contradictoires

En parcourant la liste retournée à la fin de l'étape 1.1, le moteur de génération recherche les tâches contradictoires en s'appuyant sur le modèle de tâches. Il retourne les paires suivantes :

- Paire 1 : {*"Handle_stop"*, *"Handle_aquaplaning"*},
- Paire 2 : {*"Handle_red_light"*, *"Handle_aquaplaning"*}.

En effet, les postconditions des tâches, pour les deux paires, sont incompatibles (« *Vehicle is-stopped false* » vs « *Vehicle is-stopped true* »). La paire {« *Handle_stop* », « *Handle_red_light* »} est rejetée car les postconditions sont compatibles (« *Vehicle is-stopped true* » vs « *Vehicle is-stopped true* »).

Étape 2.3 : détermination des paires de barrières avec conséquences négatives

À partir de la liste retournée à la fin de l'étape 1.2, le moteur de génération cherche, par paire, les barrières qui conduisent à des conséquences négatives si elles sont activées toutes les deux. Dans cet exemple, le moteur ne retourne aucune paire car il n'existe pas de barrières qui ont un « AND » comme nœud descendant commun.

Étape 3 : vérification de la compatibilité d'instanciation

L'ancêtre commun des tâches de la Paire 1 est la tâche « *Drive* » dont le constructeur est le constructeur temporel indépendant (IND). C'est le cas aussi des tâches de la Paire 2. Par ailleurs, les préconditions des tâches de Paire 1 sont compatibles (« *Sign is-a Stop* » vs « *Vehicle has-state aquaplaning* »). De la même façon, pour Paire 2, les préconditions des tâches sont compatibles. Par conséquent, Paire 1 et Paire 2 sont toutes les deux retenues car leurs tâches sont contextuellement et temporellement compatibles.

Étape 4 : Classer et sélectionner

À ce stade, deux paires sont candidates. Les dilemmes générés par ces paires seraient les suivants.

- Paire 1: dans une situation d'aquaplanage, le conducteur doit-il freiner pour respecter le stop au risque de perdre le contrôle de son véhicule ou doit-il éviter de freiner, en grillant ainsi le stop, afin de garder le contrôle du véhicule ?

- Paire 2: dans une situation d'aquaplanage, le conducteur doit-il freiner pour respecter le feu au risque de perdre le contrôle de son véhicule ou doit-il éviter de freiner, en grillant ainsi le feu, afin de garder le contrôle du véhicule ?

Dans cette version de la preuve de concept, le calcul des scores des paires de tâches n'a pas été implémenté. La sélection de la meilleure paire s'est faite de manière aléatoire. Dans une version plus aboutie qui prendrait en compte les contraintes pédagogiques et scénaristiques, si on suppose qu'il y a dix fois plus de feux rouges que de panneaux stop, le moteur de génération pourrait préférer Paire 2 à Paire 1 car il y aurait plus de chance qu'une situation mettant en jeu les tâches de Paire 2 se produise. Pour la suite de cet exemple, nous supposons alors que cette dernière a été choisie.

Étape 5 : Extraction d'un état du monde

Finalement le moteur de génération extrait un état du monde à partir de la paire de tâches sélectionnée. Cet état consiste en une agrégation des préconditions de ces tâches. Pour Paire 2, c'est {(*Vehicle has-state aquaplaning*) AND (*Light has-color Red*)}. Ces préconditions, qui correspondent à un état but sont transmises au moteur de planification qui se charge de diriger la simulation vers une situation où se trouve un feu

rouge et où le véhicule du conducteur est en aquaplanage. Ensuite, l'environnement virtuel se charge d'instancier visuellement la situation.

8. Évaluation et résultats

Afin d'évaluer notre moteur de génération de dilemmes, nous avons mené une première évaluation sans environnement virtuel. Cette évaluation consistait en un questionnaire en ligne où les participants devaient répondre à un ensemble de questions par rapport à différentes situations de conduite. Le questionnaire portait sur neuf situations de conduite automobile décrites par deux phrases au maximum. Parmi ces situations, six d'entre elles correspondaient à des situations générées par notre système. Elles impliquaient les paires suivantes :

- {« Respecter Stop », « Gérer Aquaplanage »},
- {« Respecter Feu rouge », « Gérer Aquaplanage »},
- {« Gérer Voiture qui colle », « Respecter Stop »},
- {« Gérer Voiture qui colle », « Gérer Traversée Piéton »},
- {« Gérer Voiture qui colle », « Respecter Feu Rouge »},
- {« Gérer Aquaplanage », « Gérer Traversée Piéton »}.

Les trois autres correspondaient à des situations dites normales :

- {« Respecter Feu Rouge », « Gérer Route Dégagée »},
- {« Respecter Sens Interdit », « Suivre Conseil du Passager »},
- {« Gérer Feu Vert », « Gérer Traversée d'un Piéton »}.

Les neuf situations ont été présentées dans un ordre aléatoire. Pour chacune d'elles, les participants devaient répondre aux questions suivantes :

- Que feriez-vous dans cette situation ?
- Avez-vous hésité avant de prendre votre décision ? Pourquoi ?
- Pensez-vous qu'il existe une solution sans conséquences négatives ?
- Pensez-vous qu'il existe une bonne solution ?

Le but de cette évaluation était de savoir si les participants retrouvaient dans les situations générées les propriétés des situations dilemmatiques. Nous avons eu un total de 67 participants. La figure 12 présente les résultats recueillis.

Nous avons constaté que les participants étaient plus hésitants dans les situations générées que dans les situations normales. Mais nous nous attendions à une valeur d'hésitation plus élevée. En analysant les réponses des participants, il s'est avéré que ceci était dû à quelques éléments qui n'étaient pas pris en compte par notre système de génération, ce qui a

permis à certaines décisions d'être plus ou moins simples et immédiates (p. ex. « la plupart des véhicules de nos jours sont équipés de technologies qui font éviter les pertes de contrôle lors d'aquaplanage. Donc, devant un feu rouge je freine »). Dans les situations générées, 60 % des participants ont estimé qu'il n'y avait pas de solution sans conséquences négatives, tandis que pour les situations normales 12 % seulement ont estimé cela. Par ailleurs, 93 % des participants ont déclaré qu'il existait une bonne solution lorsqu'il s'agissait de situations normales contre 58 % lorsqu'il s'agissait de situations générées. Par conséquent, nous pouvons en déduire que notre système a pu générer des situations qui, comparées à des situations normales, étaient plus compliquées en termes de prise de décision, étaient perçues comme ayant des conséquences négatives quel que soit le choix et ne présentaient pas de bonne solution, ce qui correspond aux situations dilemmatiques.

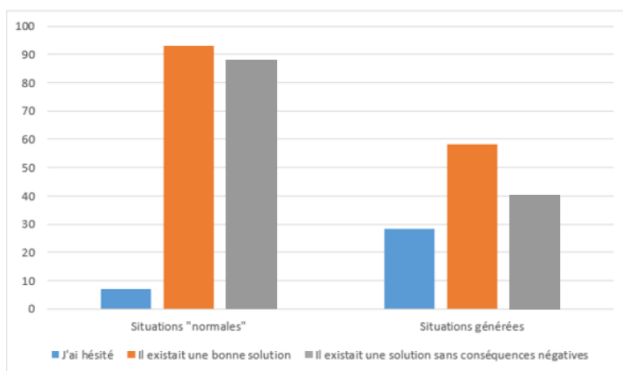


Figure 9 • Résultats de l'évaluation

9. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé une modélisation informatique des dilemmes. Nous avons également proposé différents algorithmes qui permettent de raisonner sur des modèles de connaissances afin d'extraire les propriétés nécessaires pour l'émergence des situations dilemmatiques, tout en veillant à respecter au mieux les contraintes pédagogiques issues du diagnostic et les contraintes scénaristiques liées aux restrictions issues de l'état du monde. Ces travaux ont été validés par une preuve de concept en conduite automobile qui a mis en exergue la capacité du moteur de génération à générer des dilemmes sans qu'ils soient explicitement décrits à l'avance. Nous avons également conduit une évaluation préliminaire

sous forme textuelle qui a permis d'observer que, comparé aux situations normales, les situations générées n'incluaient pas de bonne solution et que toutes les issues possibles étaient négatives. Ces résultats nous laissent optimistes pour une évaluation en environnement virtuel.

Face à un dilemme, chaque individu agira selon son propre système de valeurs (Williams, 1968). Lorsqu'aucune valeur ne prend le dessus sur l'autre, cela produit un conflit de valeurs. Pour être capable de générer de telles situations, la prise en compte du profil moral de l'apprenant est nécessaire. Une brève revue de la littérature nous laisse penser que la théorie des valeurs universelles de (Schwartz, 2006) serait un cadre théorique pertinent pour la modélisation du profil moral de l'apprenant. Cette théorie, construite grâce à des données issues de 67 pays, définit une typologie de valeurs structurées dans une représentation circulaire qui rend compte des relations de compatibilité et d'opposition des unes avec les autres. Pour nos travaux futurs, nous visons à opérationnaliser cette théorie et à intégrer par la suite le profil moral dans le processus de génération. L'objectif est de pouvoir produire des dilemmes moraux personnalisés selon le profil de chaque apprenant.

RÉFÉRENCES

Barber, H. et Kudenko, D. (2007). A User Model for the Generation of Dilemma-based Interactive Narratives. Dans *Papers from the 2007 AIIDE Workshop Optimizing Player Satisfaction* (Technical Report, p. 13-18). Menlo Park, CA : AAAI Press.

Barot, C. (2014). *Scénarisation d'environnements virtuels. Vers un équilibre entre contrôle, cohérence et adaptabilité* (Thèse de doctorat, Université de technologie de Compiègne, France). Récupéré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00980537v1/document>

Bonnefon, J.-F., Shariff, A. et Rahwan, I. (2016). The social dilemma of autonomous vehicles. *Science*, 352(6293). Récupéré de <http://science.sciencemag.org/content/352/6293/1573>

Burkhardt, J.-M., Corneloup, V., Garbay, C., Bourrier, Y., Jambon, F., Luengo, V., ... Lourdeaux, D. (2016). Simulation and virtual reality-based learning of non-technical skills in driving: critical situations, diagnostic and adaptation. Dans *IFAC-PapersOnLine* (Vol. 49, p. 66-71). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.191>

Debray, B., Chaumette, S., Descourrière, S. et Trommeyer, V. (2006). OMEGA 7 - Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle (rapport INERIS-DRA). Récupéré de https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/rapport_omega_7-2.pdf

Foot, P. (1967). The problem of abortion and the doctrine of double effect. *Oxford Review*, 5, 5-15.

**Azzeddine BENABBOU, Domitile LOURDEAUX,
Dominique LENNE**

Gratch, J. et Marsella, S. (2004). A Domain-independent Framework for Modeling Emotion. *Journal of Cognitive Systems Research*, 5(4), 296-306.

Hauser, M., Cushman, F., Young, L., Jin, R. K. X. et Mikhail, J. (2007). A dissociation between moral judgments and justifications. *Mind & Language*, 22(1), 1-21. <https://doi.org/10.1111/J.1468-0017.2006.00297.X>

Lecomte, M.-A. (2006). La formation à l'éthique des étudiants en soins infirmiers (Belgique). *Recherche en soins infirmiers*, 86(3), 4-23. <https://doi.org/10.3917/rsi.086.0004>

Lourdeaux, D., Benabbou, A., Hugué, L. et Lacaze-Labadie, R. (2017). HUMANS : suite logicielle pour la scénarisation d'environnements virtuels pour la formation à des situations socio-techniques complexes. Dans Actes de la 3^e Conférence nationale sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle (APIA 2017) (p. 61-68). Récupéré de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01713199/document>

Navarrete, C. D., McDonald, M. M., Mott, M. L. et Asher, B. (2012). Virtual morality: emotion and action in a simulated three-dimensional "trolley problem". *Emotion*, 12(2), 364-370. <https://doi.org/10.1037/a0025561>

Rickel, J., Marsella, S., Gratch, J., Hill, R., Traum, D. et Swartout, W. (2002). Toward a New Generation of Virtual Humans for Interactive Experiences. *IEEE Intelligent Systems*, 17(4), 32-38. <https://doi.org/10.1109/MIS.2002.1024750>

Schwartz, S. H. (2006). Les valeurs de base de la personne: théorie, mesures et applications. *Revue française de sociologie*, 47(4), 929-968. <https://doi.org/10.2307/20453420>

Sebillotte, S. et Scapin, D. L. (1994). From users' task knowledge to high-level interface specification. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 6(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/10447319409526080>

Skulmowski, A., Bunge, A., Kaspar, K. et Pipa, G. (2014). Forced-choice decision-making in modified trolley dilemma situations: a virtual reality and eye tracking study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 426. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00426>

Spierling, U. et Szilas, N. (2009). Authoring issues beyond tools. Dans I. A. Iurgel, N. Zagalo et P. Petta (dir.), *Interactive Storytelling, 2nd Joint International Conference on Interactive Digital Storytelling (IDIDS 2009)* (p. 50-61). Berlin, Allemagne : Springer.

Valdesolo, P. et Desteno, D. (2006). Manipulations of emotional context shape moral judgment. *Psychological Science*, 17(6), 476-477. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01731.x>

Vallentyne, P. (1989). Two Types of Moral Dilemmas. *Erkenntnis* (1975-), 30(3), 301-318. <https://doi.org/10.1007/BF00168283>

van der Veer, G. C., Lenting, B. F. et Bergevoet, B. A. J. (1996). GTA: Groupware task analysis - Modeling complexity. *Acta Psychologica*, 91(3), 297-322. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(95\)00065-8](https://doi.org/10.1016/0001-6918(95)00065-8)

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

Williams, R. M. J. (1968). Values. Dans D. L. Sills (dir.), *International Encyclopedia of the Social Sciences*. New York, NY : Macmillan.



Un système d'aide à l'analyse des traces des apprenants dans les jeux sérieux

► **Mathieu MURATET** (Sorbonne Université, CNRS, INS HEA, LIP6, F-75005 Paris, France), **Amel YESSAD** (Sorbonne Université, CNRS, LIP6, F-75005 Paris, France), **Thibault CARRON** (Sorbonne Université, CNRS, Université Savoie Mont Blanc, LIP6, F-75005 Paris, France), **Arthur RAMOLET** (Sorbonne Université, CNRS, LIP6, F-75005 Paris, France)

■ **RÉSUMÉ** • L'analyse des traces des apprenants dans les jeux sérieux est un défi lorsque le jeu sérieux autorise une liberté d'action importante au joueur. Dans cet article, nous présentons un *framework* visant (1) à assister la construction du réseau de Petri d'un jeu sérieux et (2) à utiliser ce réseau de Petri pour analyser les traces d'apprenants à travers la production d'un étiquetage pédagogique de leurs actions. Cette méthode a été expérimentée dans le but d'évaluer l'utilité et l'acceptation par des enseignants des étiquettes produites automatiquement, ainsi que leur niveau de compréhension de ces étiquettes.

■ **MOTS-CLÉS** • suivi de l'apprenant, jeu sérieux, modèle comportemental, réseau de Petri, architecture logicielle Entité-Composant-Système, étiquettes pédagogiques

■ **ABSTRACT** • *Understanding play traces resulting from the learner's activity in serious games is a challenged research area when the serious game allows a large amount of free actions. In this paper, we present a technical and a methodological framework that assists designers to build Petri nets of a serious game and then use them to analyze player's traces and generate pedagogical labels about the learner's behavior. We carried out an experimental study to evaluate the effectiveness of the labeling algorithm and to validate the acceptance and the readability of the pedagogical labels by the teachers.*

■ **KEYWORDS** • *learner monitoring, serious game, behavioral model, Petri net, Entity-Component-System software architecture, pedagogical labels*

1. Introduction

Le suivi des apprenants est une problématique importante du domaine des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH). En particulier, les traces produites par les apprenants dans les environnements de formation interactifs tels que les jeux sérieux sont complexes et volumineuses et par suite, difficiles à analyser. Il est donc utile de doter les enseignants d'outils capables d'analyser ces traces et de leur fournir un retour leur permettant de mieux interpréter le comportement des apprenants, pour éventuellement leur apporter une aide adaptée. Notre approche vise à fournir un ensemble d'informations pédagogiques sur le comportement d'un apprenant évoluant dans un environnement complexe. Ces informations sont calculées en comparant la trace de l'apprenant avec un modèle des solutions fournies par les experts. Dans cet article nous entendons par « expert » l'ensemble des personnes détenant l'expertise du jeu sur ses dimensions ludiques et pédagogiques, ceci inclut donc les experts du domaine ainsi que les concepteurs du jeu.

Nous axons notre recherche sur les jeux sérieux simulant des processus métiers complexes dans des domaines tels que la physique, la biologie, l'économie, etc. Ces processus présentent souvent une explosion combinatoire de leurs espaces d'états due à une grande liberté d'interaction des apprenants, ce qui rend compliqué le suivi par les enseignants. Ainsi, notre objectif était de générer une description lisible du comportement des apprenants à destination des enseignants ou de toute autre personne désirant analyser leur comportement (les tuteurs, les concepteurs de jeux, les joueurs eux-mêmes, etc.).

L'architecture globale que nous présentons dans cet article est composée de deux parties : le processus permettant la construction assistée du modèle qui intègre les solutions référencées par les experts (que nous appelons dans la suite *solutions expertes*) et le système Laalys V2 (Learner Activity AnaLYSer) qui permet le suivi des apprenants à partir de l'analyse de leurs traces.

Concernant la construction assistée du modèle intégrant les solutions expertes, notre proposition exploite le formalisme des réseaux de Petri (RdP). Avec cette approche, la difficulté majeure rencontrée lors de la conception d'un jeu sérieux résidait dans la construction du RdP lui-même. Cette étape était réalisée « à la main » et de nombreuses itérations étaient nécessaires afin de converger vers un modèle satisfaisant, formalisant la

simulation du jeu et intégrant les solutions expertes de résolution du problème. Notre contribution consiste donc à proposer une méthode accompagnée d'outils pour assister la création des RdP.

Concernant le système Laalys V2, la contribution présentée dans cet article concerne l'algorithme qui exploite le RdP afin d'associer des étiquettes pédagogiques aux actions d'un apprenant et de calculer un score à partir de ces étiquettes. Ces dernières renseignent les utilisateurs et notamment les enseignants sur le comportement d'un apprenant en qualifiant, par exemple, ses actions comme étant correctes, erronées, tardives ou prématurées. Le principe de cet algorithme d'étiquetage est de fournir des informations sémantiques sur les écarts détectés entre la résolution de l'apprenant et celles des experts. Nous avons mené une expérimentation avec des élèves et des enseignants de collègues dans le but d'évaluer la pertinence des étiquettes automatiquement identifiées par l'algorithme.

Dans la section suivante, nous dressons un panorama des recherches récentes en lien avec notre travail. Ensuite nous présentons de manière générale la méthode proposée, ce qui nous permet d'introduire les deux contributions de cet article. La section 4 présente la première contribution, à savoir les outils d'aide à la construction du modèle des solutions expertes. Dans la section 5, nous présentons la seconde contribution de cet article, à savoir l'algorithme d'étiquetage des actions de l'apprenant. Dans la section 6, nous décrivons l'expérimentation menée et les résultats obtenus. Enfin, nous concluons l'article en mettant en avant quelques perspectives que nous considérons pertinentes pour la suite de ce travail.

2. Travaux similaires

Le travail de recherche présenté dans cet article est une contribution à la problématique du suivi des apprenants dans les jeux sérieux. De nombreux travaux utilisant des techniques d'intelligence artificielle (dont la fouille de données) analysent les traces des apprenants en vue de fournir un feedback aux enseignants (Angeli et Valanides, 2013 ; Azevedo *et al.*, 2013 ; Baradwaj et Pal, 2012 ; Kosba, Dimitrova et Boyle, 2007). Cependant, peu de travaux ont été réalisés dans le cadre de systèmes intégrant de la simulation de processus métiers complexes, tels que les jeux sérieux auxquels nous nous sommes intéressés.

Pour de tels systèmes, des recherches ont été menées dans le domaine de la visualisation de l'information, afin de fournir aux enseignants les

moyens d'explorer des représentations graphiques pour identifier les informations nécessaires à leurs activités pédagogiques. Par exemple, les travaux présentés dans (Medler, John et Lane, 2011) et Wallner et Kriglstein, 2014) se sont focalisés sur des indicateurs visuels de jeu et consistent à collecter de manière extensive les données des joueurs pendant le jeu pour guider la prise de décision. Ils visent à fournir à la fois une analyse du *gameplay* et des traces d'exécution des joueurs en s'appuyant sur le temps et le séquençement. Ces travaux ne se sont toutefois pas intéressés à la définition d'indicateurs liés au comportement des joueurs dans le domaine de l'éducation ce qui est justement le point central de notre travail. Dans notre approche, le système analyse le comportement des apprenants et étiquète leurs actions avec des métadonnées pédagogiques. L'objectif est de fournir un retour aux enseignants sur le comportement des apprenants utilisant des jeux sérieux avec de grands espaces d'états. Cela correspond à des jeux qui offrent une grande liberté d'actions aux joueurs. Par exemple, face à un problème, ces derniers doivent déterminer la bonne séquence d'actions à effectuer parmi de nombreuses séquences d'actions possibles.

Des travaux similaires aux nôtres ont été proposés par (Harpstead *et al.*, 2013). Les auteurs proposent une méthodologie pour extraire des caractéristiques conceptuelles des traces des apprenants et les utilisent pour classer les apprenants dans des groupes. Bien que la finalité soit différente, car les auteurs visent à exploiter les traces des étudiants à des fins de réingénierie, leur problématique reste similaire : aider à comprendre l'ensemble des solutions des apprenants. Dans notre contexte, où nous souhaitons fournir aux enseignants des informations pédagogiques sur la manière dont les apprenants ont résolu le problème, cette approche s'est révélée non adaptée car elle se base uniquement sur la production finale de l'apprenant et ne prend pas en compte le processus de résolution.

Dans les travaux de Blanco *et al.* (2010), les auteurs associent aux jeux des machines à états qui représentent uniquement les situations que les enseignants souhaitent observer. Ils sélectionnent ainsi a priori les états qu'ils souhaitent tracer. Cette approche apporte une solution pour réduire la complexité de l'analyse mais pose deux problèmes majeurs. D'une part, elle nécessite a posteriori un effort important de la part des enseignants pour interpréter les indicateurs calculés par le système et, d'autre part, les enseignants pourraient ne pas observer des comportements intéressants réalisés par leurs élèves.

D'autres recherches s'appuient sur les réseaux de Petri pour modéliser la résolution des experts et proposent un algorithme pour étiqueter les actions des apprenants (Thomas, Labat, Muratet et Yessad, 2012 ; Yessad, Thomas, Capdevila et Labat, 2010). Cependant, cet algorithme est seulement adapté aux jeux de type « étude de cas » et ne convient pas à des jeux sérieux impliquant de très grands espaces d'états et une grande liberté d'action des utilisateurs. Nos travaux s'inscrivent dans la continuité de ces recherches mais visent à proposer un environnement plus générique et capable de supporter le passage à l'échelle en vue de fournir des informations d'ordre pédagogique sur le comportement de l'apprenant. Ces étiquettes pédagogiques, conçues avec des enseignants, sont plus compréhensibles par eux et sont basées sur la comparaison entre le comportement des apprenants et les comportements des experts, tous résolvant un même niveau de jeu. Une autre contribution importante de notre approche est la construction assistée du modèle de résolution de l'expert à partir d'une description déclarative et de haut niveau des niveaux de jeu.

3. Vue générale des processus de traitement

Le travail décrit dans cet article a pour objectif de présenter une approche d'analyse du comportement d'un apprenant au sein des jeux sérieux. Le système de suivi que nous proposons est basé sur la comparaison entre les traces de l'apprenant et la (les) solution(s) proposée(s) par des experts et modélisée(s) par un Rdp. Une méthode de conception a été mise en place pour aider à la construction de ce réseau.

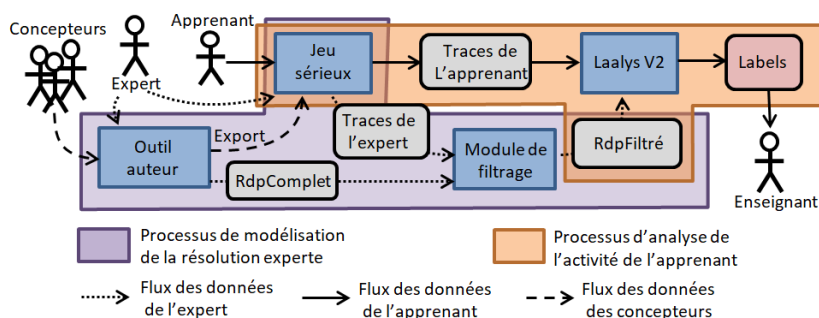


Figure 1 • Architecture générale des processus de traitement

La figure 1 illustre les différents processus permettant de mettre en place le suivi des apprenants. Pour atteindre notre but, nous construisons deux Rdp. Le premier Rdp modélise toute la simulation du jeu incluant

toutes les actions que l'apprenant peut exécuter dans le jeu et est appelé « Réseau de Petri complet » (RdpComplet). Le deuxième réseau de Petri appelé « Réseau de Petri filtré » (RdpFiltré) est une partie du RdpComplet incluant uniquement les actions que les experts ont utilisées pour résoudre le niveau du jeu.

Pour parvenir au RdpFiltré, les concepteurs disposent d'un système auteur (intégré à l'environnement de développement Unity) qui leur permet, avec l'aide de l'expert, de décrire les entités du jeu et leurs propriétés (par exemple, une entité « porte » peut être ouverte ou fermée, une flaque d'eau peut se transformer en glace ou s'évaporer). Une fois, les entités du jeu décrites, le RdpComplet est généré automatiquement et le jeu sérieux doté d'un module de production de traces est exporté. Le ou les experts peuvent alors jouer le jeu (plusieurs fois si plusieurs solutions « recommandées » existent pour un même niveau de jeu) et leurs actions sont tracées par le moteur du jeu. Ces traces sont utilisées pour filtrer le RdpComplet et générer ainsi le Rdp filtré (RdpFiltré).

Après avoir présenté cette vue générale du processus de traitement, nous présentons en détail les deux contributions de cet article, à savoir, le processus d'aide à la construction des RdP et l'algorithme d'étiquetage exploitant ces RdP.

4. Processus d'aide à la construction du modèle des solutions expertes

Comme nous l'avons exposé précédemment, nous exploitons les réseaux de Petri pour modéliser les solutions expertes d'un jeu sérieux. Nous avons choisi d'exploiter les RdP car ils ont montré depuis longtemps leur capacité à modéliser des systèmes extrêmement complexes avec de grands espaces d'états, et notamment les jeux sérieux (Araújo et Roque, 2009). Le formalisme des RdP s'appuie à la fois sur une théorie mathématique formelle rendant le modèle traitable par la machine et sur une représentation graphique lisible par des humains.

4.1. Intérêt du formalisme des réseaux de Petri (RdP)

Formellement, un RdP est un graphe biparti, valué et composé de deux types de nœuds : des *places* et des *transitions*. Chaque arc permet de connecter une place à une transition ou une transition à une place. Les places sont marquées et contiennent un nombre de *jetons* positif ou nul. Le vecteur qui associe à chaque place son marquage est appelé *marquage du RdP* et représente son état à un instant T . Une transition du RdP peut

être exécutée si elle est *sensibilisée*, c'est-à-dire, si chacune de ses places d'entrée satisfait la contrainte définie par le type et le poids de l'arc qui la relie à cette transition. Lorsqu'une transition est exécutée, des jetons des places d'entrée sont consommés (en fonction du type de l'arc) et d'autres jetons sont ajoutés aux places de sortie. L'ensemble des marquages atteignables à partir du marquage initial du RdP en exécutant les transitions sensibilisées représente l'ensemble des états du système et est appelé le *graphe d'accessibilité*. C'est ce dernier que nous exploitons pour analyser les actions du joueur. Dans le cas où le nombre d'états du jeu est infini, le graphe d'accessibilité ne peut pas être calculé et est remplacé par un autre graphe appelé *graphe de couverture* (GC). Les jeux sérieux sur lesquels nous travaillons ont souvent des graphes d'accessibilité infinis et donc, pour les besoins de l'analyse, l'algorithme calcule leur GC. Pour plus de détails, nous invitons le lecteur à consulter la littérature sur les réseaux de Petri (Peterson, 1981).

Dans notre cas, les places du RdP qui modélise un jeu sérieux représentent les différents états des objets du jeu et les transitions du RdP représentent les actions que l'apprenant peut exécuter dans le jeu pour passer d'un état à un autre. Ainsi la réalisation d'actions de jeu peut être simulée dans le réseau de Petri en déclenchant la transition associée à l'action du joueur, modifiant ainsi l'état du réseau.

Plus précisément, nous utilisons une sous-classe des RdP incluant des *arcs inhibiteurs*. Ces arcs ont la propriété d'inhiber une transition si le nombre de jetons inclus dans la place source est égal ou supérieur au poids de l'arc. Ce type d'arcs est intéressant dans notre contexte car il permet de modéliser le fait que certaines actions de jeu peuvent ne plus être possibles si l'état de la simulation dépasse certaines limites. Par exemple, considérons un jeu simple où le joueur peut subir des attaques, réduisant ses points de vie de 1, et se soigner en augmentant ses points de vie de 10. Le joueur peut se soigner seulement si ses points de vie sont strictement inférieurs à 91 (pour ne pas dépasser un maximum de 100 points de vie en cas de soin). Dans cet exemple, l'utilisation d'un arc inhibiteur évite d'avoir à créer une place artificielle stockant le nombre de points de vie perdus (figure 2). L'économie de la création de cette place artificielle est importante dans notre cas, car elle évite une intrication de l'action de soin avec une autre action de jeu, l'attaque dans cet exemple. Notre objectif étant d'assister la construction du réseau de Petri, l'utilisation des arcs inhibiteurs permet de simplifier le travail des concepteurs. En effet, dans cet exemple, les concepteurs pourront exprimer la contrainte sur

l'action de soin sans avoir à se préoccuper des effets de bords sur d'autres actions de jeu (voir section 4.3 pour les détails sur l'expression de ces contraintes).

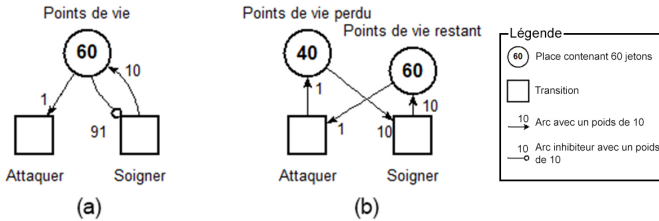


Figure 2 • Modélisation d'un système d'attaque/soin avec un arc inhibiteur (a) et sans arc inhibiteur (b)

L'utilisation des arcs inhibiteurs a toutefois des implications sur les algorithmes permettant d'exploiter et d'analyser les réseaux de Petri qui génèrent un nombre d'états potentiellement infini (Busi, 2002). Nous avons donc développé un algorithme permettant de calculer et d'exploiter le graphe de couverture d'un RdP qui prend en compte les arcs inhibiteurs et leur poids. Dans cet article, nous ne rentrons pas dans les détails d'implémentation de cet algorithme, mais nous en présentons néanmoins les points clés.

Comme évoqué précédemment, un graphe de couverture (GC) est une approximation finie de l'ensemble des marquages (potentiellement infini) du RdP et des séquences d'actions permettant de les atteindre. Le GC est calculé lorsqu'il est impossible de calculer le graphe d'accessibilité en raison de l'infinité des marquages atteignables. L'idée générale consiste à factoriser les marquages pour lesquels seul le contenu d'une place augmente. Le problème dans le cas des arcs inhibiteurs est la perte de la *propriété de monotonie*, définie ainsi : si une séquence de transitions est activable pour un marquage donné alors elle le sera aussi pour n'importe quel marquage englobant¹. Or, les arcs inhibiteurs contredisent cette propriété puisque l'augmentation du marquage par un arc inhibiteur aura justement pour effet d'inhiber des transitions. Pour résoudre ce problème nous construisons un *graphe de couverture semi-développé* incluant

¹ Un marquage $A = (A_1, \dots, A_n)$ englobe un marquage $B = (B_1, \dots, B_n)$ si quel que soit j , j entre 1 et n , $A_j \geq B_j$ et il existe au moins un i tel que $A_i > B_i$.

l'ensemble des marquages inférieurs au poids maximum des arcs inhibiteurs. Ceci a pour effet d'augmenter le nombre d'états du graphe de couverture mais rétablit la propriété de monotonie lorsque ce seuil est atteint.

Nous exploitons le graphe de couverture pour vérifier différentes propriétés. Par exemple, nous vérifions si une action du joueur est réalisable dans la suite de la simulation du système (l'action correspond à une transition franchissable) ou a déjà été réalisée (l'action correspond à une transition déjà franchie), ou nous vérifions si le joueur est bloqué (l'état final du système n'est pas atteignable à partir de l'état courant).

Nous utilisons ainsi le formalisme des RdP pour modéliser la dynamique des jeux sérieux et le graphe d'accessibilité (ou le GC dans le cas d'un graphe d'accessibilité infini), calculé automatiquement à partir du RdP, pour vérifier des propriétés sur les actions du joueur. Naturellement, le goulot d'étranglement de notre approche réside dans la construction du RdP, qui était initialement manuelle. Dans la suite de l'article, nous présentons le *framework* qui permet de réduire le temps et l'effort de cette construction en assistant la construction du RdP du jeu. Pour atteindre cet objectif, nous nous appuyons sur l'architecture logicielle Entité-Composant-Système que nous utilisons pour développer nos jeux sérieux. Dans la section suivante, nous présentons brièvement cette architecture avant d'expliquer comment nous l'utilisons pour produire le RdP du jeu sérieux.

4.2. Intérêt de l'architecture logicielle Entité-Composant-Système

L'Entité-Composant-Système (ECS) est une architecture logicielle principalement utilisée pour le développement de jeux vidéo (Bilas, 2002 ; Capdevilla, 2013). Le principe de cette architecture consiste à séparer les données de leur traitement. Les entités représentent des objets dans le jeu et ne contiennent pas de données propres ni de méthodes (ou fonctions). Les composants sont des propriétés des entités représentant leurs différentes facettes (p. ex., la couleur est un composant, la position est un composant, etc). Une entité est donc définie par l'ensemble des composants qui la caractérisent. De leur côté, les systèmes contiennent la logique du jeu et accèdent aux composants des entités en vue de les mettre à jour (p. ex., changer la position d'une entité ou sa couleur) et ainsi faire évoluer la simulation du jeu.

**Mathieu MURATET, Amel YESSAD,
Thibault CARRON, Arthur RAMOLET**

L'intérêt de cette architecture pour le jeu vidéo repose sur le fait que le processus de création d'un jeu vidéo est hautement itératif et non prédictible. En effet lors du développement d'un jeu vidéo, de nombreuses fonctionnalités peuvent être ajoutées de manière incrémentale par les *game designers*, ce qui peut mettre à mal l'arbre d'héritage d'une architecture classique orientée objets. Par exemple, doter une entité de nouvelles propriétés peut poser problème et remettre en cause l'arbre d'héritage initial, en particulier lorsque l'héritage multiple n'est pas supporté par le langage de programmation utilisé. L'approche par composition telle que définie par l'architecture ECS permet de mieux gérer ces problèmes d'évolution du système. Ainsi, l'ajout de nouvelles fonctionnalités consiste simplement à : (1) définir les composants stockant les données relatives à cette nouveauté ; (2) relier ces composants aux entités concernées ; et (3) implémenter les systèmes permettant de traiter ces composants.

En nous appuyant sur Capdevilla (2013), nous avons implémenté notre ECS comme un plugin à l'environnement de développement Unity (<https://unity3d.com/fr>)². Nous souhaitons en effet bénéficier des avantages de l'outil auteur d'Unity et de ses différents moteurs existants (rendu, physique, réseau, etc.) tout en profitant des avantages de l'architecture ECS. Notre implémentation open source de l'architecture ECS se nomme FYFY (FamilY For unitY, - <https://github.com/Mocahteam/FYFY>). Dans cette implémentation nous intégrons le concept de « famille ». Une famille est définie comme un ensemble de critères permettant de filtrer les entités (présence ou absence d'un ensemble de composants par exemple). La famille est donc l'objet permettant aux systèmes de définir de manière fine l'ensemble des entités qu'ils doivent traiter.

L'architecture ECS augmentée du concept de famille nous permet d'intégrer le suivi, soit au niveau d'une entité (suivi microscopique), soit au niveau d'une famille (groupe d'entités - suivi macroscopique). La section suivante détaille cet aspect.

² Bien que Unity intègre la notion de composition (les `GameObjects` sont définis par un ensemble de composants), les composants Unity contiennent à la fois les données et leurs traitements. Unity n'est donc pas une architecture ECS.

4.3. Exploitation de l'architecture logicielle Entité-Composant-Système pour assister la construction de réseaux de Petri

Dans le but de mettre en place un système de suivi des apprenants dans les jeux sérieux, nous avons fait le choix d'assister les concepteurs du jeu dans la construction des réseaux de Petri. En effet, la construction manuelle d'un réseau de Petri modélisant l'ensemble des entités à suivre et leurs relations est une tâche extrêmement complexe et représente le goulot d'étranglement de notre approche. Notre démarche consiste à demander aux concepteurs du jeu de créer à la main des RdP simples. Un RdP simple représente un pattern de comportement générique qu'on peut associer à une entité isolée sans se préoccuper des dépendances qu'elle peut avoir avec les autres entités. Nous avons ainsi construit, en tant que concepteurs du jeu, un ensemble de réseaux génériques représentant ces patterns de comportements récurrents dans les jeux, comme des objets de jeu activables ou des objets de jeux ramassables, l'objectif étant de capitaliser ces réseaux simples afin d'éviter d'avoir à les recréer pour chaque nouveau jeu. La figure 3 présente les deux exemples cités précédemment.

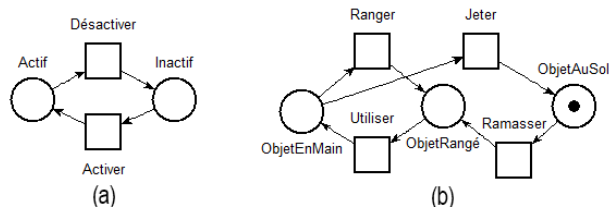


Figure 3 • Modélisation d'un objet activable (a) et d'un objet ramassable (b) à l'aide de réseaux de Petri simples

Ces RdP simples peuvent alors être reliés soit à une entité concrète du jeu, pour mettre en place un suivi particulier sur cette entité, soit à une famille, pour mettre en place un suivi global sur l'ensemble des entités de cette famille. Reprenons l'exemple d'un objet activable : si nous relions un réseau simple à une entité précise, nous pourrions suivre son état de manière fine car nous savons que cette entité peut être active (respectivement inactive) si le joueur l'active (respectivement la désactive). Si nous relions le même réseau à une famille d'entités activables, nous suivrions alors globalement l'ensemble des entités de cette famille. Afin d'assister la construction du RdP du jeu, qui modélise les dépendances entre les entités

Une dépendance ou un lien entre deux entités d'un jeu implique, suivant les cas, de connecter une transition du RdP de la première entité à une place de la deuxième entité ou inversement. Ce fonctionnement est bien entendu généralisé dans le cas de trois entités ou plus. Au niveau de l'IHM que nous proposons, l'expression d'un lien suit le schéma suivant :

- sélection de l'action (la transition) à connecter (appartenant à une première entité) ;
- sélection de l'état (la place) à connecter à cette action (appartenant à une deuxième entité) ;
- sélection du type de lien et de son poids.

Nous avons défini plusieurs types de liens :

- un lien de type « Get », traduit dans le RdP par un arc qui consomme de la place sélectionnée un nombre de jetons égal au poids du lien ;
- un lien de type « Require », traduisant plusieurs contraintes :
 - une contrainte de type « at least » : traduit dans le RdP par un arc « read » qui ne consomme pas de jetons mais active la transition si le nombre de jetons dans la place sélectionnée est supérieur ou égal au poids du lien ;
 - une contrainte de type « less than » : traduit dans le RdP par un arc inhibiteur qui ne consomme pas de jeton mais désactive la transition si le nombre de jetons dans la place est supérieur ou égal au poids du lien.
- un lien de type « Produce », traduit dans le RdP par un arc qui produit dans la place sélectionnée un nombre de jetons égal au poids du lien.

Si plusieurs liens sont définis sur une même action, ils peuvent être combinés à l'aide d'une expression booléenne. L'opérateur « * » (ET) applique tous les liens sur la transition considérée alors que l'opérateur « + » (OU) duplique la transition considérée afin de n'appliquer à chaque transition que les liens concernés. La figure 6 présente une capture d'écran du module « Monitoring » intégré à FYFY qui a permis de générer le réseau de Petri présenté en figure 5. Elle illustre le lien défini par le concepteur entre l'action *turnOn* (Activer) (1) de l'entité Porte avec les états *inHand* (en main) de l'entité *Key* (Clé) noté « I0 » (2) et *on* (Activé) de l'entité *Boiler* (Chaudière) noté « I1 » (3). Au moins un de ces deux liens est requis pour ouvrir la porte d'où l'expression : « I0+I1 » (4).

Le module « Monitoring » de FYFY permet d'intégrer à Unity les fonctionnalités suivantes :

- sélection des entités de jeu et des familles à suivre ;

**Mathieu MURATET, Amel YESSAD,
Thibault CARRON, Arthur RAMOLET**

- association d'un réseau de Petri simple à chaque élément suivi ;
- définition de liens entre les éléments suivis ;
- génération du réseau de Petri modélisant les liens définis.

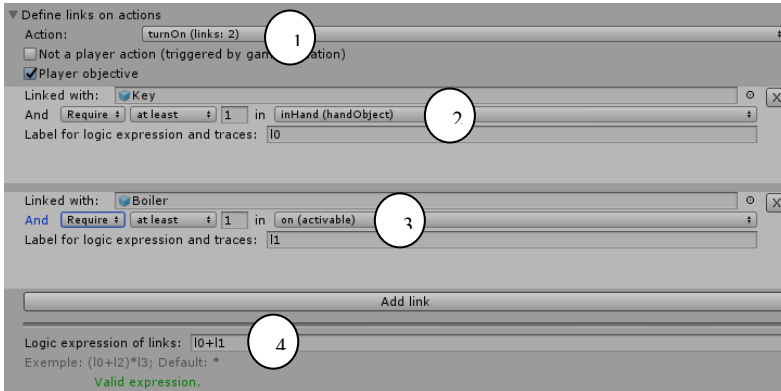


Figure 6 • Capture d'écran du module d'édition du suivi

Nous venons de présenter dans cette section l'ensemble des outils que nous proposons pour aider à la construction du Rdp modélisant le comportement des entités du jeu et leurs dépendances. Ce réseau de Petri constitue le RdpComplet tel que défini dans la section 3. Le RdpFiltré est ensuite généré à partir du RdpComplet en ne conservant que les actions utilisées par les experts pour résoudre le niveau du jeu. Dans la suite de l'article le graphe d'accessibilité/couverture calculé à partir du RdpFiltré est noté *espace-f*. Cette étape de filtrage peut avoir deux conséquences éventuelles. Premièrement, des solutions intéressantes peuvent être exclues de l'*espace-f*. Dans ce cas, des traces non-expertes mais considérées comme intéressantes pourraient également être utilisées pour filtrer le RdpComplet ; par exemple, une solution originale et correcte faite par un apprenant et évaluée positivement par l'enseignant peut être ajoutée aux traces expertes pour élargir l'éventail de solutions présentes dans le RdpFiltré. Deuxièmement, des séquences d'actions qui ne constituent pas des solutions peuvent rester dans l'*espace-f* ; en effet, toute combinaison d'actions de jeu sélectionnées par l'expert ne constitue pas forcément une solution valide du problème posé. L'algorithme présenté dans la section suivante vise à identifier ces cas et à labelliser les actions des apprenants en conséquence.

5. Analyse du comportement de l'apprenant

Comme défini dans la section précédente, nous nous appuyons sur deux réseaux de Petri pour l'analyse du comportement de l'apprenant : le premier (RdpComplet) modélise la simulation complète d'un niveau de jeu alors que le second (RdpFiltré) est une partie du premier et n'intègre que les actions recommandées par les experts pour résoudre un niveau de jeu. L'analyse du comportement d'un apprenant consiste à étiqueter ses actions. Nous proposons un algorithme permettant cet étiquetage.

5.1. Algorithme d'étiquetage

Les entrées de l'algorithme d'étiquetage sont le RdpFiltré et la trace d'un apprenant. L'algorithme d'étiquetage s'appuie sur l'identification des 3 cas suivants : le premier cas correspond aux situations dans lesquelles l'apprenant a réalisé des actions qui sont refusées par le jeu et donc qui ne modifient pas l'état du jeu ; le deuxième cas correspond aux situations où l'apprenant a réalisé des actions qui sont acceptées par le jeu et donc en modifient l'état ; le troisième et dernier cas correspond à l'identification des actions manquantes alors que le jeu est terminé.

Chacun de ces cas mène à une description qui permet de caractériser l'action de l'apprenant au moyen d'une (et d'une seule) étiquette pédagogique.

5.1.1. Cas 1 - actions qui ne changent pas l'état du jeu

Ce cas apparaît lorsque l'apprenant essaie de réaliser une action qui n'est pas autorisée dans l'état actuel du jeu, par exemple, si le joueur tente d'ouvrir une porte alors qu'il n'a pas la bonne clé. Nous avons identifié quatre étiquettes spécifiques pour caractériser ces actions de manière plus précise :

- « Tardive » si l'action était exécutable dans un état antérieur du jeu ;
- « Prématurée » si l'action sera exécutable dans un état postérieur du jeu ;
- « Non synchronisée » si l'action a été exécutable et le sera à nouveau plus tard ;
- « Erronée » si cette action n'est jamais réalisée par les experts dans la résolution du niveau.

5.1.2. Cas 2 - actions qui changent l'état du jeu

Cela correspond au cas le plus courant, mais toutefois toutes les actions ne sont pas forcément correctes en comparaison avec la

résolution des experts. En effet, la plupart des jeux pour apprendre permettent à l'apprenant de faire des erreurs. Ce principe d'essai/erreur est au cœur des jeux vidéo (Gee, 2007). L'opportunité de réaliser des séquences d'actions inutiles, redondantes ou incorrectes dans un jeu sérieux (Young, 2009 ; Thomas, Yessad et Labat, 2011) est fondamentale afin d'initier un processus de réflexion libre chez les apprenants et tenter d'atteindre les objectifs pédagogiques visés. L'algorithme évalue donc si le nouvel état courant du jeu quitte l'*espace-f*, revient dans l'*espace-f*, se déplace à l'intérieur de l'*espace-f* ou se déplace en dehors de l'*espace-f*.

5.1.2.1. Cas 2.1 - sortie de l'espace-f

Ce cas peut apparaître quand l'apprenant joue une action qui n'a pas été réalisée par les experts. Si l'état du jeu est en-dehors de l'*espace-f*, cela signifie que l'état du jeu généré ne correspond à aucun des états présents dans l'*espace-f*. L'étiquette utilisée pour étiqueter cette action est « *Erronée* ».

5.1.2.2. Cas 2.2 - retour vers l'espace-f

Cela correspond au moment où l'apprenant corrige de précédentes erreurs et retourne dans l'*espace-f*. Dans ce cas, l'algorithme (1) vérifie si l'état du jeu (noté *e*) résultant de l'action de l'apprenant est inclus dans l'historique des états déjà atteints par l'apprenant (noté *Hist*), (2) calcule la longueur du plus court chemin entre ce nouvel état et un état final (noté *Lpcc*) et (3) évalue la distance minimale (plus court chemin) entre chaque état de l'historique et un état final (noté *Dmin*). En fonction des résultats sur ces trois critères, les étiquettes suivantes sont générées pour l'action de l'apprenant :

- « *Rattrapage* » ($e \subset \text{Hist} \wedge (Lpcc = Dmin)$) ;
- « *Retour arrière* » ($e \subset \text{Hist} \wedge (Lpcc > Dmin)$) ;
- « *Progression* » ($e \notin \text{Hist} \wedge (Lpcc < Dmin)$) ;
- « *Non-optimale* » ($e \notin \text{Hist} \wedge (Lpcc \geq Dmin)$).

5.1.2.3. Cas 2.3 - déplacement dans l'espace-f

Dans ce cas, l'algorithme vérifie si l'apprenant progresse vers un état final ou tend à s'en éloigner. Ainsi l'algorithme (1) calcule la longueur du plus court chemin (noté *Lpcc*) entre le nouvel état (noté *ne*) et un état final (noté *ef*), (2) évalue la longueur du plus court chemin entre l'état précédent (noté *ep*) et un état final, (3) vérifie si ces deux chemins (noté *Pcc*) sont différents, (4) vérifie si l'action effectuée est une action experte

(noté *Expert*) et (5) vérifie si le nouvel état est un successeur direct de l'état précédent dans l'espace-*f* (noté *Succ*).

En fonction des résultats sur ces cinq critères, les étiquettes suivantes sont générées pour l'action de l'apprenant :

- « *Correcte* » ($\text{Expert} \wedge (\text{Lpcc}(\text{ne}, \text{ef}) < \text{Lpcc}(\text{ep}, \text{ef}))$);
- « *Equivalente* » ($\neg \text{Expert} \wedge (\text{Lpcc}(\text{ne}, \text{ef}) < \text{Lpcc}(\text{ep}, \text{ef})) \wedge \text{Succ}$);
- « *Progression* » ($(\neg \text{Expert} \wedge (\text{Lpcc}(\text{ne}, \text{ef}) < \text{Lpcc}(\text{ep}, \text{ef})) \wedge \neg \text{Succ}$);
- « *Inutile* » ($(\text{Lpcc}(\text{ne}, \text{ef}) = \text{Lpcc}(\text{ep}, \text{ef})) \wedge (\text{Pcc}(\text{ne}, \text{ef}) = \text{Pcc}(\text{ep}, \text{ef}))$);
- « *Non-optimale* » ($((\text{Lpcc}(\text{ne}, \text{ef}) = \text{Lpcc}(\text{ep}, \text{ef})) \wedge (\text{Pcc}(\text{ne}, \text{ef}) \neq \text{Pcc}(\text{ep}, \text{ef})))$);
- « *Régression* » ($\text{Lpcc}(\text{ne}, \text{ef}) > \text{Lpcc}(\text{ep}, \text{ef})$).

5.1.2.4. Cas 2.4 - déplacement en dehors de l'espace-*f*

Ce comportement correspond au cas où l'apprenant réalise une action qui conserve le jeu dans un état en-dehors de l'espace-*f*. Dans ce cas, l'algorithme essaie de calculer un nouvel espace-*f* en initialisant le RdpFiltré à l'état courant du jeu. Si un état final est atteignable à partir de l'état courant, l'algorithme traite cette action comme dans le cas 2.3. Sinon, l'algorithme détermine si le nouvel état est plus proche d'un état final du niveau que l'état qui le précède (l'étiquette générée est alors « *Rapprochement* »), plus éloigné (l'étiquette générée est « *Eloignement* ») ou équidistant (l'étiquette générée est « *Stagnation* »).

5.1.3. Cas 3 - actions manquantes lorsque le jeu est terminé

Si la dernière action de l'apprenant ne lui permet pas d'atteindre un état final du jeu, l'algorithme recherche le dernier état dans l'espace-*f* atteint par l'apprenant et calcule le chemin le plus court pour atteindre la fin du niveau à partir de cet état. Ensuite, l'algorithme affecte aux actions de ce chemin l'étiquette « *Manquante* ».

5.2. Calcul du Score

L'algorithme d'étiquetage présenté ci-dessus produit 16 étiquettes pédagogiques. Nous associons un coefficient pour chaque étiquette afin d'être en mesure de proposer un score (tableau 1). Ce score permettra, dans la phase d'expérimentation, de comparer l'évaluation produite par l'algorithme d'étiquetage avec les données des enseignants.

Tout d'abord, nous définissons comme *étiquettes positives* celles qui garantissent une progression vers un état final. Nous définissons les

coefficients associés à ces étiquettes dans l'intervalle]0;1]. Pour cette classe, nous retenons les étiquettes suivantes: « Correcte » dénote un comportement satisfaisant par rapport à la solution des experts (coef=1); « Équivalente » est similaire à une action « Correcte », mais fait référence à une action non-experte (d'où un coefficient plus bas : 0,8); « Progression » signifie que l'apprenant suit un processus de résolution non-expert mais se rapproche de la solution (coef=0,6); et « Rapprochement » est associée au plus petit coefficient positif, car cela arrive lorsque l'apprenant se déplace en dehors de l'espace- f (coef=0,4).

Tableau 1 • Coefficients des étiquettes positives et négatives

Étiquettes positives	Coef.	Étiquettes négatives	Coef.
Correcte	1	Inutile	-0,1
Équivalente	0,8	Éloignement	-0,2
Progression	0,6	Manquante	-0,3
Rapprochement	0,4	Erronée	-0,5

Ensuite, nous définissons comme *étiquettes négatives*, celles qui représentent un écart certain par rapport à la solution des experts. Afin de donner plus de poids aux étiquettes positives dans le calcul du score et de moins pénaliser les essais-erreurs, nous définissons les coefficients négatifs dans l'intervalle [-0,5; 0]. Pour cette classe, nous retenons les étiquettes suivantes :

- « Erronée » est l'opposée de « Correcte » (coef=-0,5);
- « Manquante » apparaît quand les apprenants abandonnent le niveau, nous choisissons de pondérer fortement cette étiquette pour dégrader le score des étudiants dans le cas d'un abandon (coef=-0,3);
- « Éloignement » est l'opposée de « Rapprochement » (coef=-0,2);
- « Inutile » ne caractérise pas une erreur majeure, elle a donc une influence mineure sur le score (coef=-0,1).

L'étalonnage de ces coefficients a été stabilisé après quelques itérations, avec comme noyau structurant des écarts relatifs similaires entre étiquettes opposées (Correcte/Rapprochement vs Erronée/Éloignement).

Finalement, les étiquettes restantes (Non-optimale, Rattrapage, Retour arrière, Stagnation, Prématurées, Tardives, Régression et Non synchronisée) sont classées comme étiquettes neutres. Même si leurs coefficients sont mis à 0, elles vont contribuer au calcul du score en augmentant la taille de la trace, dégradant ainsi le score de l'apprenant.

Dans l'expérimentation que nous avons menée, le score d'une trace d'apprenant a été calculé par la formule (1) et est défini dans l'intervalle $[-0,5; 1]$. Pour une trace, nous notons $L = \{l_1, l_2, \dots, l_{16}\}$ l'ensemble incluant le nombre de chaque sorte d'étiquette et $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{16}\}$ l'ensemble définissant le coefficient de chaque sorte d'étiquette.

$$score = \frac{\sum_{i=1}^{16} l_i * c_i}{\sum_{i=1}^{16} l_i} \quad (1)$$

Naturellement, la pondération des étiquettes et la méthode de calcul de score peuvent être adaptées en fonction des besoins, des objectifs et des pratiques pédagogiques des enseignants.

6. Étude expérimentale

L'architecture globale, incluant la génération assistée des réseaux de Petri ainsi que l'analyse et l'étiquetage des actions d'un joueur, a été évaluée sur un prototype de jeu sérieux appelé « Les Cristaux d'Ehere », conçu pour enseigner les concepts de la physique de l'eau à des élèves de 5^e au collège. L'objectif pour chaque niveau est de résoudre des problèmes mettant en jeu des compétences relatives à la compréhension de processus de changements d'états de l'eau. Les apprenants doivent déplacer un avatar pour interagir avec des objets du jeu et atteindre une solution mettant en œuvre des compétences en physique. Tous les niveaux du jeu (18) ont été conçus en suivant la méthode que nous avons présentée dans cet article.

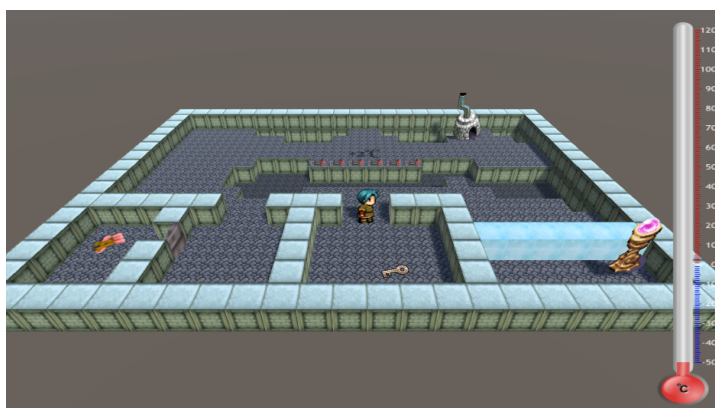


Figure 7 • Copie d'écran du niveau « Le mur de glace »

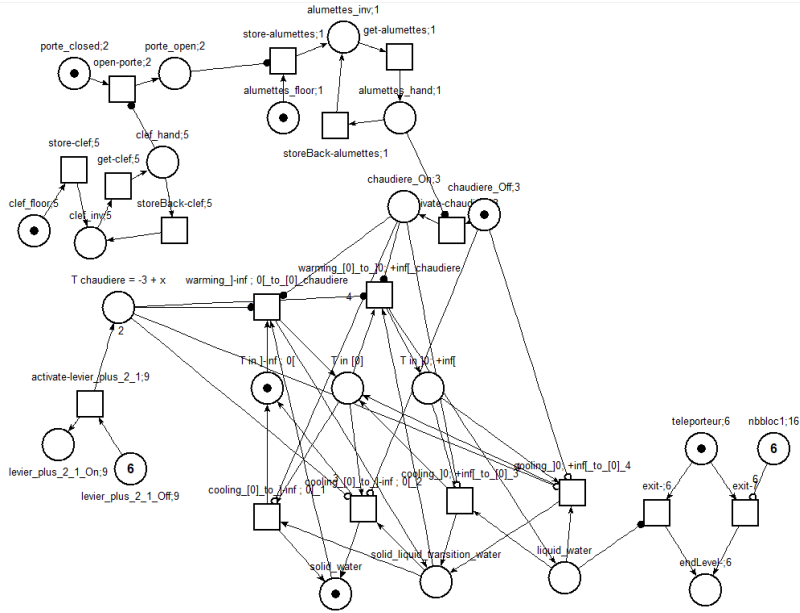


Figure 8 • Réseau de Petri filtré (construit automatiquement) du niveau « Le mur de glace »

Nous présentons ici les résultats concernant deux niveaux: « Le thermomètre » et « Le mur de glace ». Dans le premier, « Le thermomètre », l'apprenant travaille sur la compétence « Lire la température précisément sur un thermomètre analogique » et dans le second, « Le mur de glace », il travaille des compétences relatives à la compréhension de la fonte de l'eau à l'état solide. Les figures 7 et 8 montrent respectivement une copie d'écran et le réseau de Petri filtré (avec l'aide de la trace d'un seul expert) du niveau « Le mur de glace ». L'analyse du graphe d'accessibilité complet de ce dernier niveau s'élève à 3 780 états de jeu reliés par 24 120 liens, réduits à 97 états (dont 20 états représentant des états finaux du jeu) et 326 liens pour sa version filtrée avec la trace experte.

6.1. Protocole expérimental

L'objectif de cette expérimentation est de déterminer si les étiquettes et le score calculé par l'algorithme donnent une idée satisfaisante du comportement d'un apprenant et sont cohérents avec les retours (scores) proposés par les enseignants.

Nous avons mené une expérimentation de nature qualitative avec neuf élèves et quatre enseignants de physique au collège. Un protocole expérimental a été suivi afin d'analyser l'efficacité de l'algorithme d'étiquetage auprès des enseignants. Tout d'abord, nous avons filmé les écrans des élèves pendant les sessions de jeu. Ensuite, nous avons présenté les niveaux du jeu aux enseignants.

Pour évaluer la qualité des étiquettes proposées, nous avons demandé à trois enseignants sur les quatre de visualiser les vidéos des apprenants résolvant les niveaux « Le thermomètre » et « Le mur de glace ». Nous leur avons demandé d'évaluer le comportement de trois apprenants avec un score global sur une échelle de 1 à 3 : 1 pour un élève qui a échoué ou rencontré de sérieuses difficultés à résoudre le niveau, 2 pour un élève qui rencontre quelques difficultés et 3 pour un élève qui a montré une bonne compréhension des concepts du domaine sous-jacents à la résolution du niveau. Nous avons limité l'évaluation à trois catégories pour aider les enseignants à classer les élèves. En effet, n'ayant à leur disposition que les vidéos des sessions de jeu, ils éprouvaient des difficultés pour positionner les élèves sur des échelles plus fines. Le classement en trois niveaux était donc le meilleur compromis permettant aux enseignants d'avoir confiance en leur classification. Ensuite, nous avons fourni la liste des étiquettes pédagogiques et leur signification. Nous avons demandé à ces mêmes enseignants d'étiqueter les actions des élèves manuellement en utilisant la liste des étiquettes. Une fois qu'ils avaient étiqueté les actions des trois élèves, nous leur avons présenté les étiquettes générées par l'algorithme d'étiquetage. Enfin, nous avons soumis aux enseignants un questionnaire afin d'évaluer la qualité des étiquettes générées automatiquement.

D'autre part, nous avons demandé au quatrième enseignant de visionner les vidéos de tous les apprenants pendant les deux niveaux et d'évaluer le comportement des apprenants avec la même échelle de score que celle des trois autres enseignants, mais sans qu'il ait connaissance des étiquettes. Notre objectif était de vérifier si le processus d'étiquetage pouvait influencer la notation des enseignants. Enfin, nous avons comparé le score calculé automatiquement par LaaLys V2 aux notes données par cet enseignant.

6.2. Résultats et discussion

6.2.1. L'avis des enseignants sur les résultats de l'algorithme d'étiquetage

Les trois enseignants ont été capables d'étiqueter les traces de chacun des trois élèves entre 3 et 10 minutes, en fonction de la longueur de la trace. L'interview de ces enseignants a montré qu'ils considèrent unanimement que les étiquettes ont un sens pédagogique et apportent une bonne compréhension du comportement des élèves.

Quand nous avons comparé l'étiquetage automatique à ceux réalisés manuellement par les enseignants, nous avons noté une grande similarité. Néanmoins, les enseignants ont souvent confondu les étiquettes « Rattrapage » et « Retour arrière ». En effet, ces deux étiquettes sont très similaires même si elles restent sémantiquement différentes et nécessiteraient donc plus d'explication auprès des enseignants. Aussi, un des enseignants n'a pas compris la signification de l'étiquette « Non synchronisée » et par conséquent, ne l'a pas utilisée. Après discussion avec cet enseignant, nous pensons que cette étiquette peut être assimilée à l'étiquette « Prématurée » car le fait qu'une action a été disponible dans le passé n'est pas important et que la caractéristique la plus utile pour l'enseignant est surtout de savoir si une action va être disponible dans le futur pour l'apprenant.

Les trois enseignants ont estimé que les étiquettes choisies par l'algorithme étaient plus précises que leurs propres choix et que cela représente une économie en temps substantielle, en comparaison avec la production et le visionnage des vidéos. Ils proposent dans le même esprit d'extraire automatiquement des motifs plus abstraits de regroupement d'étiquettes : par exemple, la détection répétée dans une trace de plusieurs actions « Prématurée » ou « Tardive » pourraient montrer qu'un apprenant ne comprend pas les contraintes temporelles du processus métier simulé par le jeu. Cela permettrait un retour d'un niveau d'abstraction plus adapté pour les enseignants.

Finalement, nous avons comparé les scores donnés par les trois premiers enseignants et ceux donnés par le quatrième enseignant (nous ne considérons ici que les trois étudiants ayant été évalués par tous les enseignants). Le coefficient de Kappa ($k=0,9$) montre que l'activité d'étiqueter les traces n'influence pas la notation des enseignants puisque les quatre enseignants ont noté les élèves de manière très proche.

6.2.2. Comparaison des scores de Laalys V2 avec les notes données par le 4^e enseignant

Le tableau 2 montre les données expérimentales sur les niveaux « Le thermomètre » et « Le mur de glace ». Pour ces deux niveaux, nous présentons les données pour les neuf élèves (S1 à S9). La première ligne donne pour chaque élève le score automatique fourni par l'algorithme (rapporté et discrétisé sur l'ensemble des valeurs [1 ; 2 ; 3]) et la deuxième ligne le score attribué par le quatrième enseignant. La dernière ligne donne la longueur de la trace.

Tableau 2 • Comparaison des scores de chaque élève pour les niveaux « Le thermomètre » et « Le mur de glace »

	Le thermomètre									Le mur de glace								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Score de Laalys V2	2	1	1	3	1	1	1	1	1	3	1	2	3	1	3	1	3	1
Score de l'enseignant	2	1	1	3	1	3	1	2	1	3	2	2	3	1	2	1	3	1
Longueur de la trace	8	27	18	6	23	18	33	35	32	9	22	13	13	20	12	13	9	42

La comparaison des scores de l'enseignant et des scores calculés par Laalys V2 donne un coefficient de Kappa de 0,64 et permet de conclure à un accord fort entre ces différents scores. Toutefois, nous notons une divergence entre les scores pour les deux élèves S6 et S8 dans le niveau « Le thermomètre », ainsi qu'entre les scores pour les deux élèves S2 et S6 dans le niveau « Le mur de glace », ce que nous explicitons ci-dessous.

Thermomètre S6 : ce cas est le plus grand écart entre le score donné par l'enseignant (3) et le score calculé automatiquement (1). L'enseignant a noté que l'élève a tâtonné pour atteindre la solution, a essayé un grand nombre de choses et a vérifié la température après chaque action. L'algorithme a détecté ce comportement en étiquetant plusieurs actions avec l'étiquette « Stagnation » dans la trace de l'élève, ce qui a dégradé le score automatique de l'élève. Cependant, l'enseignant a été indulgent en notant l'élève S6 car il avait remarqué que le tâtonnement de l'élève était dû à un bug dans le jeu (la loupe facilitant la lecture de la température sur le thermomètre ne s'affichait pas) et non à un manque de compétence chez l'élève S6.

Thermomètre S8 : l'enseignant note que cet élève actionne les leviers contrôlant la température sans tester systématiquement la sortie du niveau. Selon l'enseignant, c'est un bon comportement mais le moteur du jeu ne trace pas l'information de tester la sortie. Si c'était le cas, le score calculé aurait été meilleur que celui des autres élèves qui n'avaient pas ce comportement.

Le mur de glace S2 : l'enseignant justifie sa note avec les mêmes explications que pour l'élève S5 mais n'a pourtant pas donné la même note. Du point de vue de l'analyse automatique, les deux traces sont très similaires et donc le score l'est aussi. Cela semble montrer un résultat plus cohérent que l'évaluation de l'enseignant.

Le mur de glace S6 : l'enseignant a commenté le comportement de l'élève comme celui des élèves qui ont obtenu la note 3 (S1, S4 et S8). Or la note est différente (2). Il n'a pas expliqué les différences entre ces élèves. Là encore l'analyse automatique semble plus cohérente.

7. Conclusion et travaux futurs

Le travail présenté dans cet article concerne l'évaluation du comportement des apprenants dans des jeux sérieux avec de grands espaces d'états. Deux contributions sont détaillées : (1) la construction assistée de réseaux de Petri modélisant des entités du jeu et leurs dépendances et (2) l'algorithme d'analyse qui permet d'étiqueter les actions de l'apprenant au moyen d'un ensemble d'étiquettes pédagogiques. Nous avons proposé une méthode que nous avons mise en œuvre pour produire les réseaux de Petri des 18 niveaux du jeu sérieux « Les Cristaux d'Ehère ». L'algorithme d'étiquetage a été expérimenté lors d'une étude qualitative avec neuf élèves et quatre enseignants de collèges. L'évaluation a donné des résultats positifs à la fois sur l'utilité des étiquettes et sur la concordance des scores calculés par le système avec les notes attribuées par les enseignants. Comme évoqué dans la section 6.1, nous avons fait le choix d'une échelle à trois niveaux, car les enseignants avaient des difficultés à justifier leurs notes avec une échelle plus détaillée, sur la seule base de la vidéo. Pour pouvoir affiner leur classement, les enseignants auraient souhaité avoir des données supplémentaires comme les questions posées par les étudiants en cours de jeu. Nous pourrions alors vérifier si ses scores affinés restent homogènes entre enseignants et avec le score généré automatiquement.

Nous avons étendu une recherche initialement conçue pour des jeux de type « études de cas » à des jeux offrant une plus grande liberté d'action au joueur, le jeu « Les Cristaux d'Ehère » pouvant être classé dans la catégorie des jeux d'aventure de type *Point And Click*. Nous souhaitons poursuivre nos recherches pour généraliser davantage cette approche et permettre de (1) suivre des objets de jeu générés dynamiquement en cours de simulation (donc non inclus dans le réseau de Petri initial) et (2) simplifier la prise en compte des intervalles de validité de l'état d'un objet, par exemple définir qu'une action peut être réalisée si tel objet a sa propriété comprise entre X et Y (actuellement ce mécanisme peut être embarqué dans le réseau de Petri lors de la modélisation mais mériterait d'être défini lors de la phase de résolution experte).

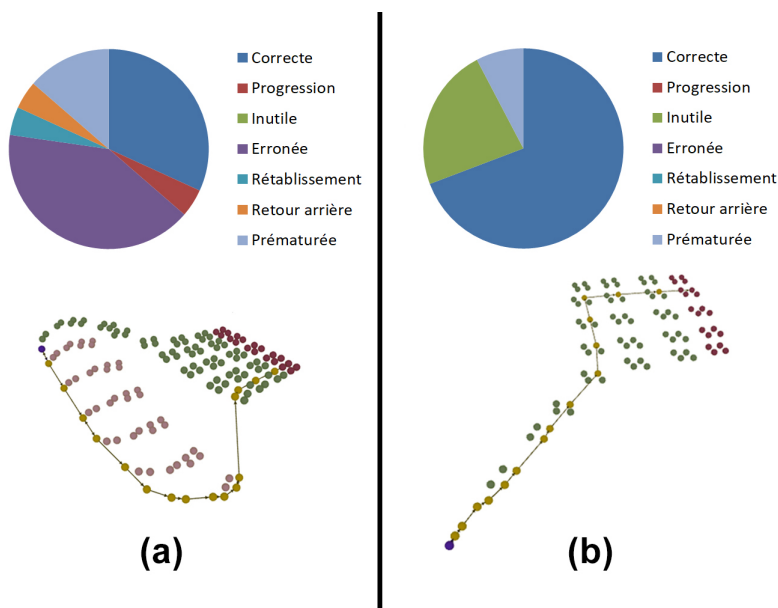


Figure 9 • Piste de visualisations de la trace de deux étudiants pour le niveau « Le mur de glace » pour une interprétation aisée par les enseignants

Nous souhaitons également travailler sur une visualisation synthétique permettant aux enseignants d'interpréter plus rapidement les labels pédagogiques. Ces visualisations pourraient être annotées et prendre la forme de diagrammes ou de visualisation abstraite du parcours des apprenants. La figure 9 présente une piste de visualisation pour deux apprenants ayant joué au niveau « Le mur de glace ». Le diagramme en

secteur permettrait de proposer aux enseignants une synthèse de l'activité de chaque étudiant afin qu'ils puissent repérer rapidement ceux qui ont eu le plus de difficultés à résoudre un niveau donné. Dans la vue abstraite du processus de résolution, les sphères vertes représentent l'*espace-f*, la sphère bleue correspond à l'état initial du niveau, les sphères rouges représentent les états finaux et les sphères jaunes les états du jeu parcouru par l'apprenant. Cette vue permettrait aux enseignants d'identifier à quel moment l'élève a quitté l'*espace-f*, quelles étapes lui ont permis de corriger ses erreurs ou s'il a abandonné le jeu en étant proche de la solution. Ces propositions de visualisation doivent encore être travaillées et évaluées conjointement avec les utilisateurs.

Ce travail a également permis d'envisager plusieurs nouvelles pistes de recherche: (1) utiliser l'analyse du comportement de l'apprenant et son score pour, par exemple, l'affecter à un groupe de niveau, (2) utiliser les étiquettes afin d'implémenter un retour (feedback) en ligne et adapté à chaque élève, (3) implémenter la propagation des étiquettes dans un modèle cognitif de l'apprenant et (4) comparer les réseaux de Petri (RdpFiltré) construits par filtrage automatique des réseaux complets (RdpComplet) et les réseaux de Petri construits manuellement par les experts.

RÉFÉRENCES

Angeli, C. et Valanides, N. (2013). Using educational data mining methods to assess field-dependent and field-independent learners' complex problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 61(3), 521-548.

Araújo, M. et Roque L. (2009). Modeling Games with Petri Nets. *DiGRA Conference*.

Azevedo, R., Harley, J., Trevors, G., Duffy, M., Feyzi-Behnagh, R., Bouchet, F. et Landis, R. (2013). Using trace data to examine the complex roles of cognitive, metacognitive, and emotional self-regulatory processes during learning with multi-agent systems. Dans R. Azevedo et V. Aleven (dir.), *International handbook of metacognition and learning technologies* (p. 427-449). Springer.

Baradwaj, B. K. et Pal, S. (2012). Mining educational data to analyze students' performance. *IJACSA*, 2(6), 63-69.

Bilas, S. (2002). A data-driven game object system. Dans *Game Developers Conference Proceedings*.

del Blanco, A., Torrente, J., Marchiori, E. J., Martínez-Ortiz, L., Moreno-Ger, P. et Fernández-Manjón, B. (2010). Easing assessment of game-based learning with e-adventure and lams. Dans *Proceedings of the Second ACM International Workshop on*

Multimedia Technologies for Distance Learning (MTDL'10) (p. 25-30). New York, NY : ACM.

Busi, N. (2002). Analysis issues in Petri nets with inhibitor arcs. In *Theoretical Computer Science*, 275(1-2), 127-177.

Capdevila, B. (2013). *Serious game architecture and design: modular component-based data-driven entity system framework to support systemic modeling and design in agile serious game developments* (thèse de doctorat non publiée). Université Pierre et Marie Curie, Paris, France.

Gee, J.P. (2007). *What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy* (2nd ed.). New York, NY : Palgrave Macmillan.

Harpstead, E., MacLellan, C. J., Koedinger, K. R., Alevan, V., Dow, S. P. et Myers, B. A. (2013). Investigating the solution space of an open-ended educational game using conceptual feature extraction. Dans *Proceedings of the 6th International Conference on Educational Data Mining* (p. 51-58). International Educational Data Mining Society.

Kosba, E., Dimitrova, V. et Boyle, R (2007). Adaptive feedback generation to support teachers in web-based distance education. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 17(4), 379-413.

Medler, B., John, M. et Lane, J. (2011). Data cracker: Developing a visual game analytic tool for analyzing online gameplay. Dans *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)* (p. 2365-2374). New York, NY : ACM.

Peterson, J. L. (1981). *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*. Reading, MA : Prentice Hall.

Thomas, P., Yessad, A. et Labat, J.-M. (2011). Petri nets and ontologies: Tools for the "learning player" assessment in serious games. Dans *Proceedings of International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (p. 415-419).

Thomas, P., Labat, J.-M., Muratet, M. et Yessad, A. (2012). How to evaluate competencies in game-based learning systems automatically? Dans *Proceedings of International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2012)* (p. 168-173). Berlin, Allemagne : Springer.

Wallner, G. et Kriglstein, S. (2014). Technical section: Plato: A visual analytics system for gameplay data. *Computers and Graphics*, 38, 341-356.

Yessad, A., Thomas, P., Capdevila, B. et Labat, J.-M. (2010). Using the petri nets for the learner assessment in serious games. Dans *Proceedings of International Conference on Web-Based Learning (ICWL)* (p. 339-348).

Young, H. P. (2009). Learning by trial and error. *Games and economic behavior*, 65(2), 626-643.



Vers une approche *Meta-Design* des *Learning Games* avec le modèle DISC : de la conception à l'analyse des traces d'usage des étudiants par les enseignants

► **Mathieu VERMEULEN** (LIP6, Sorbonne Université, IMT Lille Douai), **Nadine MANDRAN** (LIG, Grenoble Alpes Université), **Jean-Marc LABAT** (LIP6, Sorbonne Université), **Gaëlle GUIGON** (IMT Lille Douai)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article propose un modèle formel comme partie intégrante d'une approche *Meta-Design* des *Learning Games* qui engage fortement les enseignants dans les phases de conception et d'usage. Utilisé comme guide conceptuel dans la phase de conception, le modèle DISC est composé d'éléments déclinables en objets informatiques (artefacts) qui facilitent le travail des enseignants auteurs. Une première expérimentation a permis la création d'un *Learning Game* en mécanique des fluides. Un travail d'analyse de traces d'usage des étudiants par les enseignants a été facilité par les visualisations proposées et par la structure du modèle DISC. Ce travail a permis une réingénierie du *Learning Game*.

■ **MOTS-CLÉS** • Meta-Design, jeux sérieux, conception centrée utilisateur, analyse de traces

■ **ABSTRACT** • This paper proposes a formal model as part of a meta-design approach to learning games that strongly involves teachers in the design and use phases. Used as a conceptual guide in the design phase, the DISC model is composed of artifacts that ease the teacher-authors work. A first experiment allowed the creation of a learning game in fluid mechanics. An analysis of students' traces of uses has been facilitated by visualizations and the structure of DISC. This work allowed a re-engineering of the learning game.

■ **KEYWORDS** • Meta-design, learning game, User-centered design, traces analysis

1. Introduction

Le terme *Learning Game* possède plusieurs définitions, en fonction du contexte et des auteurs. Fabricatore (2000) en donne une définition qui montre l'ambiguïté du concept :

« *a virtual environment and a gaming experience in which the contents that we want to teach can be naturally embedded with some contextual relevance in terms of the game-playing [...]* ».

Après un essor important et de nombreux appels à projets publics (par exemple en France), force est de constater le nombre relativement faible de *Learning Games* produits et l'usage peu important de ceux-ci. Plusieurs facteurs semblent être en cause :

- le manque d'outils et de méthodologies pour les créer, tant pour la conception que pour la production (Mariais, Michau, Pernin et Mandran, 2011) ;
- le besoin de développements spécifiques dédiés, difficilement réutilisables sans une forte adaptation (liée au choix de l'enseignant) (Marne et Labat, 2014) ;
- des outils auteurs complexes nécessitant des compétences informatiques (Marfisi-Schottman, Labat et Carron, 2013).

Ces facteurs entraînent, entre autres, un coût élevé pour les *Learning Games* et ne permettent guère de trouver un modèle économique viable. Par ailleurs, les enseignants de l'enseignement supérieur, même convaincus du potentiel du numérique éducatif dans lequel s'inscrivent les *Learning Games*, ont des difficultés à se les approprier pour changer leur pédagogie (Egenfeldt-Nielsen, 2004) et ont encore bien plus de difficultés à s'approprier les outils auteurs pour construire leurs propres ressources (Marne, 2014). La conception de ressources pédagogiques par eux-mêmes, ou même simplement leur participation à la conception, serait pourtant probablement un gage de meilleure utilisation de celles-ci, tant les enseignants, en particulier en France, souhaitent rester maîtres des ressources qu'ils utilisent. L'engagement des enseignants à toutes les étapes de la vie d'un *Learning Game* semble un point important. Des travaux suggèrent un accompagnement de ces derniers lors des phases de conception et d'usage

1 Que l'on peut traduire par: un environnement virtuel et une expérience ludique dans lesquels les contenus que l'on souhaite enseigner peuvent être intégrés de façon naturelle, contextuelle et avec pertinence en termes de jeu [...]

de ces Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) (Alvarez, J., Plantec, J.-Y., Vermeulen, M. et Kolski, C. (2017), d'autres proposent un engagement fort au travers du concept de *Meta-Design*, que Fischer, Giaccardi, Ye, Sutcliffe et Mehandjiev (2004) définissent comme suit :

« *Meta-design characterizes objectives, techniques, and processes for creating new media and environments allowing "owners of problems" (that is, end users) to act as designers. A fundamental objective of meta-design is to create socio-technical environments that empower users to engage actively in the continuous development of systems rather than being restricted to the use of existing systems* »².

Cette approche présente un cadre intéressant en sollicitant fortement les utilisateurs finaux à la fois dans la phase de conception, mais aussi dans la phase d'usage, ce qui leur permettrait de garder un certain contrôle sur les EIAH produits. Notre objectif est de fait de définir des modèles, des méthodes et des outils pour la création de *Learning Games* qui associent étroitement les enseignants, non seulement dans la phase de conception, mais aussi dans l'usage de ceux-ci. Pour atteindre cet objectif, nous proposons de mettre en place une approche *Meta-Design* des *Learning Games*, ce qui requiert de définir un modèle de *Learning Game* pour faciliter la co-conception de ces derniers, et d'articuler ce dernier avec un outil de visualisation des traces d'usage des étudiants pour permettre l'analyse de celles-ci et donc la réingénierie du *Learning Game*.

À la suite de cette introduction, nous présentons une étude de l'état de l'art des méthodes et modèles de *Learning Games*, et les propriétés attendues pour définir un modèle de conception de *Learning Games*. La partie suivante présente la méthode de conduite de la recherche utilisée, qui a structuré le travail de recherche présenté. Puis, nous proposons un type de *Learning Game* adapté au contexte de l'enseignement supérieur sur lequel s'appuie le modèle formel DISC décrit dans la quatrième partie de cet article. Nous spécifierons les éléments constitutifs du modèle, ainsi

2 Qui peut être traduit par : le *Meta-Design* définit les objectifs, les techniques et les processus pour créer de nouveaux médias et environnements permettant aux « propriétaires des problèmes » (c'est-à-dire les utilisateurs finaux) d'agir en tant que concepteurs. Un objectif fondamental du *Meta-Design* est de créer des environnements sociotechniques qui permettent aux utilisateurs de s'engager activement dans le développement en continu des systèmes plutôt que de se limiter à l'utilisation des systèmes existants.

que les relations entre chacun d'entre eux. La partie qui suit traitera de la mise en œuvre de DISC au cours ou tout au long de la création et de l'usage d'un *Learning Game* [baptisé Missions à Emosson] dans le domaine de la mécanique des fluides. Cette partie intégrera les retours qualitatifs recueillis auprès des enseignants auteurs. La sixième partie traitera du recueil de traces d'usages des étudiants, de leur analyse par les enseignants, des propositions d'amélioration du *Learning Game* et de la réingénierie de celui-ci. Enfin, nous proposerons des perspectives de recherche.

2. État de l'art

Le *Meta-Design* ne semble pas encore très présent dans la conception des EIAH. Peu d'exemples ont émergé des travaux de recherche, ces derniers s'attaquant principalement à l'une ou à l'autre des phases définies (conception et usage).

Néanmoins, Marne (2014) propose une approche *Meta-Design* des jeux sérieux fondée sur un ensemble de concepts, une méthode de conception et un modèle que nous décrirons plus loin, mais aussi sur la notion d'objets frontières ou *Boundary Objects*, favorisant l'échange, le partage et la communication entre des acteurs détenteurs d'expertises différentes (Bowker et Star, 2000) et de patrons de conception (ou *Design Pattern*). Marne propose ainsi des outils utiles dans les phases de conception et d'usage, en insistant sur la réingénierie des jeux sérieux, plus précisément, sur la scénarisation de ceux-ci. Le modèle MoPPLiQ définit un cadre permettant d'une part la conception et, d'autre part, l'analyse en vue de faciliter la réingénierie des scénarios des jeux sérieux par les enseignants. Nous reviendrons sur cet outil dans cette partie.

Pour répondre à la problématique de la conception des *Learning Games*, de nombreux auteurs ont proposé des modèles d'EIAH ou de jeux sérieux souvent génériques, comme *Serious Game Conceptual Framework* (Yusoff, A., Crowder, R., Gilbert, L. et Wills, G. (2009), les 6 facettes du jeu sérieux (Marne, Wisdom, Huynh-Kim-Bang et Labat, 2012), la méthodologie de création de *Learning Game* utilisée pour l'outil Legadee (Marfisi-Schottman, 2012) ou encore ATMSG (Carvalho *et al.*, 2015). Plus rarement ont été proposés des modèles spécifiques à un type donné, comme le jeu de type *Point and Clic* avec WEEV (Marchiori *et al.*, 2012) ou MoPPLiQ (Marne et Labat, 2014).

Après avoir étudié ces modèles, nous avons extrait des propriétés intéressantes pour notre public cible, les enseignants du supérieur

(tableau 1). En reprenant les propriétés des différents modèles étudiés, nous avons choisi de privilégier les propriétés suivantes: identifier clairement la place de l'enseignant et son rôle dans la conception; un modèle simple permettant la réingénierie des *Learning Games* produits; un modèle décrivant l'ensemble des éléments nécessaires à la conception d'un *Learning Game*; une conception collaborative fondée sur des composants (activités, mini-jeux, etc.) et sur les approches agiles. Enfin, nous considérons que l'approche narrative est aussi un élément intéressant que l'on souhaite intégrer.

Tableau 1 • Propriétés et limites pour différents modèles de *Learning Games*

Modèle	Propriétés	Limites
SGCF (Yusoff <i>et al.</i> , 2009)	Distingue les étapes de conception et situe les acteurs	Ne précise pas les rôles au sein du processus
6 facettes (Marne <i>et al.</i> , 2012)	Propose un cadre de conception souple et identifie 2 catégories d'expertise	Ne précise pas les objets à mettre en place et modèle très général
Legadee (Marfisi-Schottman, 2012)	Articule des mini-jeux dans un scénario global	Propose une approche coopérative en parallèle plutôt que collaborative
ATMSG (Carvalho <i>et al.</i> , 2015)	Précise le type d'activités selon trois catégories : <i>Gaming, Learning, Instructional</i> , elles-mêmes identifiées par des actions, des objectifs et des outils	Propose un modèle théorique assez difficile à appréhender par les enseignants
WEEV (Marchiori <i>et al.</i> , 2012)	Propose une approche narrative fondée sur les interactions	Limite la durée du <i>Learning Game</i> en raison d'une représentation du scénario complexe et prévu pour un seul enseignant auteur
MoPPLiq (Marne et Labat, 2014)	Facilite la réingénierie du scénario	Propose un modèle centré uniquement sur le scénario

Ces modèles proposent un cadre capable de décrire les aspects pédagogiques et ludiques d'un *Learning Game*. Pour autant ils ne précisent pas les modèles informatiques utilisés pour traduire en artefacts la conception de ces EIAH. Or, nous savons par l'expérience d'ingénieur pédagogique de l'un des auteurs de l'article que, sans modèle prédéfini, les enseignants éprouvent des difficultés à penser les objets à mettre en place dans la phase de conception.

**Mathieu VERMEULEN, Nadine MANDRAN,
Jean-Marc LABAT, Gaëlle GUIGON**

De plus, les modèles trop génériques ne facilitent pas la conception et l'usage de *Learning Games*. Ainsi, nous avons ici pris le parti de proposer un modèle formel pour la conception de *Learning Game* à étapes, autrement dit ceux dont le scénario peut-être fractionné en étapes, qui peuvent être des niveaux, des études de cas ou des exercices de différents types (Marne, 2014). Plus spécifiquement, en nous appuyant sur des travaux antérieurs montrant l'intérêt de la méthode des cas pour l'enseignement supérieur (Marfisi-Schottman *et al.*, 2013), notre modèle permet la conception de *Learning Gamebooks* ou « jeux sérieux dont vous êtes le héros ». Nous définissons un *Learning Gamebook* comme un *Learning Game* à étapes, fondé sur un scénario non linéaire, c'est-à-dire un scénario adaptatif en fonction des choix de l'apprenant, des résultats de ses actions ou encore d'éléments aléatoires intégrés, mono-joueur ou multi-joueurs, qui reprend les principes du « Livre dont vous êtes le héros » et des jeux de rôles pédagogiques (Daniau, 2005) en intégrant des études de cas et des problèmes à réaliser par les apprenants-joueurs. On peut rapprocher ce paradigme de celui des *Narrative Centered-Learning Environments* qui sont définis comme :

« *a class of game-based learning environments that contextualize educational content and problem solving with interactive story scenarios* » (Rowe *et al.*, 2011).³

Le scénario des *Learning Gamebooks* est donc un élément central, car il favorise les choix de l'apprenant-joueur et lui permet de construire sa propre histoire en fonction de ceux-ci. Nous avons choisi ce type de *Learning Game* comme base pour définir le modèle DISC.

3. Une méthode de recherche ancrée sur le terrain : THEDRE

L'approche méthodologique utilisée pour mener les travaux présentés dans cet article repose sur les travaux de Mandran et Dupuy-Chessa (2017) : la méthode de recherche THEDRE pour *Traceable Human Experiment Design REsearch*.

³ Que l'on peut traduire par : une catégorie d'environnements d'apprentissage fondés sur le jeu qui contextualisent le contenu éducatif et la résolution de problèmes au travers de scénarios interactifs sous forme d'histoires.

La méthode THEDRE se situe dans le positionnement épistémologique du constructivisme pragmatique (Avenier, 2009). Elle intègre un processus d'amélioration *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) ou cycle de Deming, un outil pour guider l'amélioration d'un processus (Sokovic, Pavletic et Pipan, 2010). Mettre en place ce cycle nécessite de disposer d'indicateurs pour mesurer l'activité, le volume de production et ainsi vérifier que les objectifs définis dans l'action *Plan* ont été atteints. En particulier, ces indicateurs permettront de déterminer l'intérêt de procéder à une nouvelle itération du cycle.

Un point important pour nous est que THEDRE utilise la démarche centrée utilisateur (DCU) qui intègre l'utilisateur dès le départ de la conception. Les trois phases de la DCU sont l'analyse, la conception et l'évaluation. Mandran propose plutôt les termes Explorer, Co-construire et Évaluer que nous utilisons tout au long de nos travaux, car le terme co-construction y est particulièrement bien adapté.

La méthode THEDRE se décompose en cinq sous-processus : Planification, Expérimentation, Contrôle, Construction et Décision, et enfin Communication (figure 1). Pour chacun de ces sous-processus, la méthode précise les objectifs et les tâches à atteindre et à réaliser. Elle détaille les livrables à produire et les indicateurs de traçabilité et de qualité associés à ceux-ci. Elle fait intervenir quatre acteurs (figure 1) : le chercheur, le développeur, le méthodologue et l'utilisateur. Dans le cadre du travail présenté ici, la contribution du chercheur et du méthodologue est réalisée par la même personne, le doctorant. Le rôle du développeur, quant à lui, est assuré par un ingénieur technopédagogique. Enfin, les utilisateurs sont les enseignants du supérieur, enseignants-chercheurs ou professeurs.

THEDRE fait intervenir des outils activables, comme un média entre l'utilisateur et la connaissance scientifique. Dans notre cas, les outils activables sont :

- Les supports de passation⁴ du modèle de *Learning Games* (ils dépendent de l'itération du modèle en question); ces supports sont matérialisés par des documents, des cartes mentales ou des tableurs (en général avec le logiciel Excel);

⁴ Terme utilisé par Mandran, spécifique à la transmission d'une méthode ou d'un modèle aux utilisateurs en vue de planifier une expérimentation.

**Mathieu VERMEULEN, Nadine MANDRAN,
Jean-Marc LABAT, Gaëlle GUIGON**

- Les *Learning Games* produits à l'aide du modèle; ce sont des applications *Web* intégrées au sein d'une plate-forme de formation (pour nos expérimentations, il s'agit de *Moodle*).

Un des points forts de la méthode est d'effectuer un contrôle des données recueillies (sous-processus Contrôle) lors des expérimentations. De fait, le choix de la méthode de production des données est une étape importante de la démarche de recherche pour la recherche en EIAH. Mandran propose un logigramme facilitant cette étape et donnant de la cohérence aux données recueillies. Nous avons largement utilisé celui-ci lors de nos expérimentations.

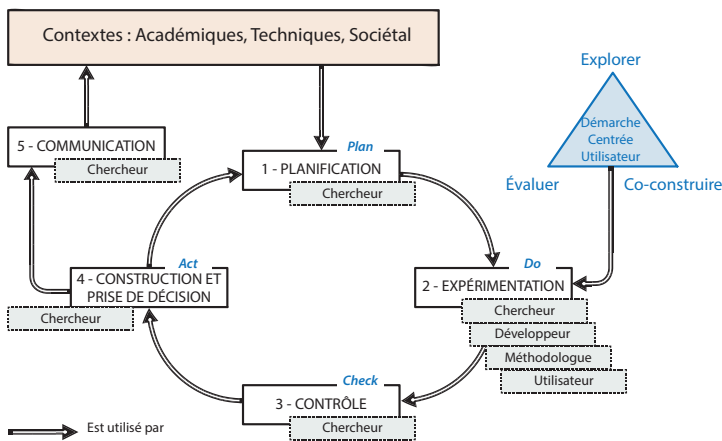


Figure 1 • Méthode THEDRE : 3 contextes, 5 sous-processus, 4 acteurs, Cycle PDCA et Démarche Centrée Utilisateur (DCU) d'après Mandran et Dupuy-Chessa (2017)

La suite de cet article détaille une itération du cycle de recherche de la méthode THEDRE que nous avons mise en œuvre.

4. Le modèle DISC

Une première itération du modèle DISC (Vermeulen, 2016) a permis la conception d'un premier *Learning Game* en février 2016, dont l'usage a été analysé par un suivi des traces d'usages des apprenants (Vermeulen, Mandran et Labat, 2016). À la suite de ces travaux, nous avons modifié et

précisé le modèle et, ainsi, défini une nouvelle version de celui-ci⁵. C'est cette deuxième version qui est décrite dans cet article. Précisons que ce modèle s'intéresse essentiellement à l'objet jeu c'est-à-dire à l'aspect jeu-*Game* du *Learning Game*, en parallèle de l'aspect jeu-*Play* qui concerne l'action de jouer (Sanchez *et al.*, 2015).

Un *Learning Game* L_g conçu selon DISC est composé de quatre éléments D, I, S, C :

$$L_g = \{D, I, S, C\}$$

Pour des raisons de cohérence didactique, nous présenterons dans la suite de cet article ces éléments dans l'ordre suivant : D le modèle du domaine, S le scénario, I l'ensemble des interactions de L_g et enfin C les contraintes d'usage.

Le modèle DISC est constitué de trois structures distinctes, gigognes et hiérarchisées (figure 2) : le *Learning Game*, les étapes et les études de cas.

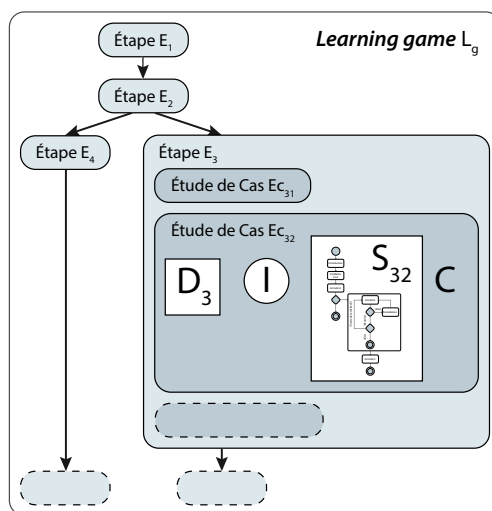


Figure 2 • Structure du modèle DISC

5 Par rapport à la première itération, DISC propose le découpage en étapes de D, la définition et la spécification des études de cas comme briques élémentaires et l'intégration de l'élément O (Objectifs) comme un sous-élément de D. L'élément S (scénario) a été décrit en détail avec un focus sur les types d'activités.

Chacun de ces éléments est conçu en étroite collaboration avec l'enseignant auteur du *Learning Game*, qui est présent dans toutes les phases de la conception. Il est le principal rédacteur-concepteur de ces éléments et de leurs composants. Notre modèle s'adresse en priorité aux enseignants chercheurs scientifiques parce qu'il est préférable de connaître la notion de graphe pour utiliser notre modèle.

4.1. Construire le modèle du domaine D

La notion de modèle informatique du domaine n'est pas aisée à comprendre pour les enseignants ; ce concept est pourtant indispensable dans la conception d'EIAH : il traduit le recueil de l'expertise des enseignants. Il s'agit ainsi de définir un modèle du domaine compréhensible par les enseignants. Il ne doit pas forcément être exhaustif : il faut restreindre celui-ci au *Learning Game* à produire et le définir en fonction du public cible du jeu. De plus, ce modèle du domaine est construit par les enseignants en fonction des objectifs pédagogiques à atteindre.

Nous avons choisi de modéliser le domaine D de L_g sous la forme d'un graphe orienté dont les nœuds sont les compétences du domaine formant un ensemble noté K . Les arcs de ce graphe traduisent les liens de prérequis entre les compétences du domaine, reprenant ainsi les concepts du *CbKST* (Melero, El-Kechai, et Labat, 2015 ; Reimann, Kickmeier-Rust et Albert, D. (2013). Notons Pr l'ensemble de ces liens de prérequis. D est modélisé par le graphe (K, Pr) . Ainsi, en reprenant un format simple (le graphe) et aisément représentable, les enseignants peuvent construire le modèle du domaine de manière quasi autonome. Pour autant, la tâche reste difficile dans le cas où les compétences sont en grand nombre.

Pour faciliter la construction du modèle de D , nous proposons de décomposer celui-ci en sous-domaines D_1, D_2, \dots, D_n . Ce découpage est classiquement réalisé par l'enseignant lors de la construction d'un cours, c'est-à-dire qu'il décompose celui-ci en parties autonomes (chapitres) reliés par des liens de prérequis. Ces sous-domaines sont modélisés par des sous-graphes du graphe de D , respectivement engendrés par des ensembles de compétences $K_i, K_i \subset K$. Les K_i sont définis par l'enseignant : il définit à la fois les objectifs pédagogiques (l'ensemble des compétences O_i à atteindre pour chaque chapitre) et les prérequis pour les atteindre (l'ensemble des compétences P_i). Ainsi, les K_i forment des ensembles cohérents de compétences : pour i donné, chaque compétence de K_i est atteignable par un chemin dans le graphe de D_i . Autrement dit, pour toute compétence de D_i , les prérequis de cette compétence sont des nœuds du graphe de D_i . Cette

décomposition du modèle du domaine selon les différents chapitres facilite la perception de cet élément par les enseignants en rendant l'exercice plus aisé.

Dans le modèle DISC, L_g contient un ensemble structuré d'étapes E_1, E_2, \dots, E_n respectivement associées aux graphes de D_1, D_2, \dots, D_n , faisant respectivement travailler par les apprenants-joueurs les objectifs pédagogiques définis O_1, O_2, \dots, O_n et ayant respectivement comme prérequis nécessaires pour réaliser ces étapes P_1, P_2, \dots, P_n . Les O_i constituent l'ensemble des compétences travaillées au sein de l'étape E_i . Ainsi, pour tout $i \in [1, n]$, le graphe de D_i est le modèle du domaine de l'étape E_i .

4.2. La construction de S et la décomposition des étapes en études de cas

La composante S de L_g s'exprime de manière différente au sein des trois structures de DISC (figure 2). Au premier niveau, c'est un graphe qui relie les étapes entre elles. Au second niveau, chaque étape est composée d'un ensemble d'études de cas. Des travaux antérieurs ont permis de montrer l'intérêt de la méthode des cas pour la création de *Learning Games* par les enseignants de l'enseignement supérieur, en particulier à la suite du projet collaboratif *Generic-SG* (Marfisi-Schottman *et al.*, 2013). Pour tout $i \in [1, n]$ l'étape E_i contient un ensemble de m études de cas $Ec_{i,1}, \dots, Ec_{i,m}$ ($m \in \mathbb{N}^*$ et m dépend de i). L_g peut ainsi être considéré comme l'ensemble des études de cas $Ec_{i,j}$. Les $Ec_{i,j}$ possèdent un ensemble de prérequis notés $P_{i,j}$ et font travailler par les apprenants-joueurs les objectifs pédagogiques notés $O_{i,j}$.

Nous imposons à l'enseignant que toutes ces études de cas soient indépendantes les unes des autres, ce qui a comme conséquence que l'apprenant peut résoudre les études de cas dans n'importe quel ordre, il n'y a pas de scénario imposé. Cela suppose que pour entrer dans cette étape, l'apprenant maîtrise (est censé maîtriser) tous les prérequis nécessaires à la résolution de toutes les études de cas. Nous reviendrons plus loin sur cette propriété importante de notre modèle.

Cette décomposition propose aux enseignants de découper la conception en unités de petite taille (les $Ec_{i,j}$), ce qui leur semble plus abordable qu'une conception globale. Par ailleurs, cette structuration facilite l'intervention de plusieurs enseignants auteurs à condition de respecter le modèle des $Ec_{i,j}$ tel que décrit ci-dessous.

4.2.1. Le modèle des études de cas $Ec_{i,j}$.

Ainsi, chaque $Ec_{i,j}$ est construite sur le modèle des scénarios utilisateurs (*User Stories*) issues des approches agiles et des expérimentations d'adaptation de ces approches à la pédagogie (Vermeulen, Fleury, Fronton et Laval, 2015 ; Vermeulen, Laval, Serpaggi et Pinot, 2017). Elles suivent les qualificatifs définis dans l'acronyme P.I.S.T.E. pour *Prerequisites, Independent, Small, Testable, Estimable* qui est librement inspiré de l'acronyme I.N.V.E.S.T. (Cohn, 2004) issu des approches agiles :

- *Prerequisites*, les prérequis d'une $Ec_{i,j}$, $P_{i,j}$ sont connus des apprenants-joueurs ;
- *Independent*, les $Ec_{i,j}$ peuvent être réalisées dans l'ordre choisi par l'apprenant-joueur indépendamment de celles qu'il a déjà terminées dans l'étape E_i ; ce point essentiel est repris ci-dessous ;
- *Small*, une $Ec_{i,j}$ doit être suffisamment petite (en terme de ressources pour l'apprenant-joueur) ;
- *Testable*, une $Ec_{i,j}$ doit pouvoir être testée ; les objectifs pédagogiques $O_{i,j}$ doivent être atteignables dans un temps court ;
- *Estimable*, l'apprenant peut initialement estimer les efforts nécessaires pour réaliser une $Ec_{i,j}$.

L'intérêt pour les approches agiles est double dans le modèle DISC. D'une part, elles nous permettent de spécifier les caractéristiques des $Ec_{i,j}$ comme nous l'avons décrit avec l'acronyme P.I.S.T.E. D'autre part, de nombreux outils et méthodes de ce paradigme issu de la gestion de projet en informatique ont déjà été mis en avant dans les méthodes de conception de *serious games* (Marne, 2014).

4.2.2. Indépendance des $Ec_{i,j}$ et type d'étapes

L'indépendance des $Ec_{i,j}$ est un point essentiel du modèle DISC. Elle apporte un élément ludique à l'apprenant en lui donnant une liberté vis-à-vis de l'aspect narratif du scénario global : il peut construire sa propre histoire en suivant l'étude de cas qu'il souhaite au sein d'une étape E_i . De plus, elle garantit la possibilité d'ajouter une étude de cas à L_g (y compris par un enseignant autre que le concepteur initial de L_g) et facilite ainsi la réingénierie du *Debriefing Learning Game*. Pour qu'il y ait indépendance des $Ec_{i,j}$, il ne doit y avoir aucune relation de précédence ou de prérequis entre deux $Ec_{i,j}$ données. Pour vérifier ce point, il nous faut vérifier l'assertion suivante : pour toute étude de cas $Ec_{i,j}$ de E_i , les prérequis de $Ec_{i,j}$ sont des prérequis de l'étape E_i . Ainsi, quand l'assertion est vérifiée, il est inutile de redéfinir les prérequis pour chaque étude de cas, puisque par

hypothèse nous considérons que pour rentrer dans une étape, le joueur doit posséder tous les prérequis pour réaliser n'importe quelle étude de cas de cette étape.

En dialoguant avec les enseignants, nous avons pris conscience qu'ils distinguent deux types d'études de cas $Ec_{i,j}$ en fonction des prérequis et des objectifs de celles-ci. Le premier type dit étude de cas d'acquisition (type 1) est caractérisé par un ensemble $O_{i,j}$ de compétences atteignables en un pas à partir de l'ensemble $P_{i,j}$ dans le graphe D_i . Le second type dit étude de cas de révision (type 2) propose à l'apprenant-joueur de vérifier et de stabiliser un ensemble d'acquis.

Pour les études de cas de type 1, les objectifs de l'étude de cas sont à un pas d'inférence des prérequis de celle-ci. Dans le cas d'une étude de cas $Ec_{i,j}$ de type 2, celle-ci peut demander plusieurs pas de raisonnement (Vygotzky, 1980).

4.2.3. Un scénario des $Ec_{i,j}$ intégrant des activités

Au troisième niveau de notre modèle (figure 2) les $Ec_{i,j}$ s'articulent autour d'un scénario décrit par les enseignants, noté $S_{i,j}$. $S_{i,j}$ peut être considéré comme un graphe orienté dont les nœuds sont des activités de l'apprenant et dont les arcs traduisent les enchaînements de ces activités choisis librement par les enseignants. Les activités sont en général de difficulté croissante au fur et à mesure de l'avancée dans le graphe de scénario. Du point de vue de l'apprenant, une activité donnée (et donc un nœud dans le graphe du scénario) est déterminée par les choix et actions de l'apprenant dans les activités précédentes (Marne, 2014 ; Vermeulen *et al.*, 2016). Les enseignants définissent ainsi un scénario prédictif comme une description à priori du déroulement de la situation de jeu (Pernin et Lejeune, 2004). Les $S_{i,j}$ suivent un modèle de graphe explicité dans la figure 3.

Les $S_{i,j}$ contiennent plusieurs activités ordonnées en fonction de leur difficulté théorique suggérée par l'enseignant. La première activité teste la maîtrise des prérequis de l'étude de cas $Ec_{i,j}$: en cas d'échec de l'apprenant à cette activité, il sort de l'étude de cas. Les suivantes font travailler des compétences incluses dans les $O_{i,j}$ et proposent, en cas d'échec, une remédiation et un nouvel essai. La dernière activité, plus complexe, clôt $Ec_{i,j}$ (l'apprenant sort avec un succès ou un échec). Pour chaque activité, les résultats sont enregistrés et contribuent au résultat global de l'apprenant au *Learning Game* (via un score, des badges, etc.). Cette

structure est modulaire : elle permet l'ajout d'activités par les enseignants soit à la conception, soit lors des phases de réingénierie.

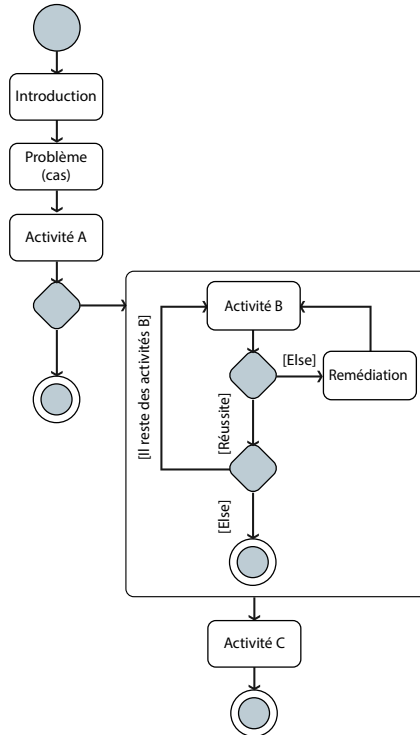


Figure 3 • Modèle de graphe des scénarios $S_{i,j}$

4.3. I : les activités et interactions

Les activités peuvent être de différents types. Certaines mènent l'apprenant à opérer des choix ou à donner des résultats ou des informations par exemple en répondant à des questions. Les activités sont placées dans quatre catégories, sur la base des travaux de Carvalho *et al.* (2015) autour du modèle ATMSG (*Activity Theory-based Model for Serious Games*) :

- *ludique*, cette catégorie regroupe les activités en lien avec la notion de jeu (par ex. récupérer un badge) ;
- *d'apprentissage*, les activités de cette catégorie permettent de travailler ou de vérifier des compétences, du point de vue de l'apprenant-joueur (par ex. réaliser un quiz) ;

- *pédagogique intrinsèque*, les activités de cette catégorie permettent de travailler ou de vérifier des compétences, mais sont placées du point de vue de l'enseignant et sont intrinsèques au jeu (donner un feedback automatique);

- *pédagogique extrinsèque*, les activités de cette catégorie permettent de travailler ou de vérifier des compétences mais sont placées du point de vue de l'enseignant et sont extrinsèques au jeu (communication entre apprenants sur le contenu du *Learning Game* via un forum).

Carvalho propose une décomposition de ces activités en actions portées par des outils et ayant un objectif spécifique associé aux catégories ci-dessus. Nous avons repris les taxonomies proposées par le modèle ATMSG largement inspirées par la littérature, telle la taxonomie de Bloom pour les objectifs pédagogiques (Anderson *et al.*, 2001). Par exemple, la taxonomie proposée par Carvalho pour les actions ludiques est utilisée, entre autres, pour définir l'élément I.

L'ensemble I des interactions disponibles est défini par l'ingénieur pédagogique et proposé à l'enseignant. Chaque activité est associée par ce dernier à une ou plusieurs interactions disponibles dans l'ensemble I. Comme évoqué précédemment, nous avons utilisé les taxonomies d'actions proposées par Carvalho, assurant ainsi un large panel de possibilités pour les enseignants. Cet élément et l'ensemble des activités disponibles ne sont pas détaillés dans cet article.

4.4. C : le contexte d'usage de L_g

Le contexte d'usage C explicite les usages de L_g et les contraintes associées à celui-ci. On intégrera par exemple l'environnement dans lequel les apprenants-joueurs se trouveront lors de l'utilisation de L_g . Formellement, C est défini comme le quadruplet $C = (\text{Institutionnel}, \text{Spatial}, \text{Temporel}, \text{Matériel})$, avec :

- Institutionnel contient l'ensemble des contraintes propres au contexte institutionnel (type de cursus, type de formation, etc.);
- Spatial regroupe les contraintes de l'environnement spatial relatif aux usages de L_g (salle de classe, extérieur, etc.);
- Temporel reprend les éléments relatifs au temps (durée, fréquence, etc.);
- Matériel contient les contraintes matérielles (support, interface, etc.).

Plus précisément, l'élément C donne une description du cadre pédagogique dans lequel le *Learning Game* prend place et s'intègre. Il est

défini par l'enseignant seul et tient compte des objectifs généraux du jeu définis au tout début de la phase de conception.

4.5. Méthode associée au modèle DISC

Comme dans le modèle DISCO, les éléments sont co-conçus par le ou les enseignants auteurs du *Learning Game*. Ces derniers sont présents dans toutes les phases de la conception (figure 4). Dans nos expérimentations, ils sont accompagnés par un ingénieur pédagogique qui facilite la production des documents relatifs aux éléments de DISC et prend en charge la phase de production du jeu.

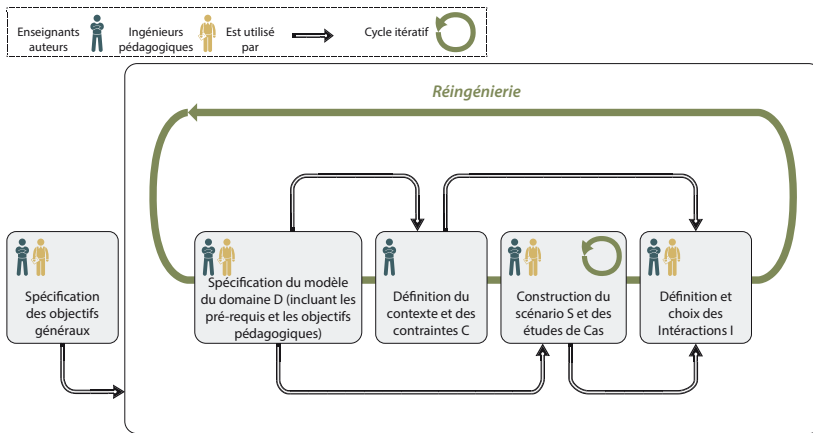


Figure 4 • Schéma indiquant les phases de la méthode associée au modèle DISC

La méthode associée à DISC est itérative, grâce à l'intégration d'un cycle de réingénierie. À l'issue de la co-conception d'un *Learning Game*, de son utilisation et d'une phase d'analyse des traces d'usage, une phase de réingénierie est opérée par les enseignants (auteurs et/ou utilisateurs). Le processus propose les phases suivantes : spécification des objectifs généraux, spécification de D, définition de C, co-construction de S, définition et choix de I (figure 4).

Le modèle DISC et la méthode associée ont été décrits à l'enseignant souhaitant concevoir un *Learning Game* en mécanique des fluides.

4.6. Passation du modèle DISC

Plusieurs passations avec cinq enseignants ont été réalisées entre avril et juin 2016 lors d'entretiens semi-directifs (tels que préconisés par la méthode THEDRE). Ces enseignants sont chargés de cours dans différentes écoles d'ingénieurs en France. Ils avaient pour objectif de réaliser des *Learning Games* en vue de permettre aux étudiants de manipuler des compétences propres à chaque discipline. Le modèle a été présenté à l'aide de documents, repris dans ce manuscrit, présentant les éléments et la structure de DISC. Nous avons explicité la méthode associée (figure 3), les documents attendus à produire et les outils utilisés, tels les outils de carte mentale.

L'un des enseignants, en charge de l'enseignement de la mécanique des fluides à l'IMT Lille Douai, a souhaité travailler avec ce modèle à la suite de l'entretien d'avril 2016. Lors d'un second entretien semi-directif, cet enseignant a précisé le type de traces à recueillir afin d'analyser les parcours des apprenants et, le cas échéant, de réaliser une réingénierie du jeu. Il a souhaité recueillir :

- les scores finaux des apprenants, mais aussi le nombre de points de vie en fin de jeu ;
- les pas visités ordonnés chronologiquement, ce qui permet de déduire le chemin des apprenants au sein du scénario S ;
- le temps total passé sur le jeu ;
- le temps passé pour chaque pas ;
- le nombre de parties réalisées par chaque apprenant.

Nous reviendrons sur le recueil de traces des apprenants lors de la présentation de l'expérimentation.

5. Expérimentation : développement du *Learning Game* « Missions à Emission »

Cette partie décrit l'expérimentation menée pour valider le modèle DISC. Celle-ci a été planifiée à l'aide des outils proposés par THEDRE et cette planification est donnée par un diagramme d'orchestration (figure 5).

L'enseignant auteur a conçu un *Learning Game* comme une activité du MOOC Introduction à la mécanique des fluides. Il souhaitait apporter aux apprenants une activité fondée sur une situation réelle mobilisant et faisant travailler les compétences vues lors du MOOC. Ce dernier a été utilisé au sein d'un dispositif de classe inversée pour les élèves ingénieurs

**Mathieu VERMEULEN, Nadine MANDRAN,
Jean-Marc LABAT, Gaëlle GUIGON**

de trois écoles d'ingénieurs françaises. Le *Learning Game* fait référence au complexe d'Emosson en Suisse non loin du massif du Mont Blanc. L'apprenant-joueur devra vivre le quotidien d'un ingénieur mécanicien des fluides en poste à Emosson S.A. et résoudre les problèmes et situations qui lui seront proposés (figure 6). Missions à Emosson (http://lesecper.imt-lille-douai.fr/ECSPER_MaE/index.html) a été intégré au MOOC lors de sa deuxième session de septembre à novembre 2016 sur six semaines : deux semaines de travail suivies d'une semaine d'évaluation, puis deux semaines de travail pour terminer sur une semaine d'évaluation.

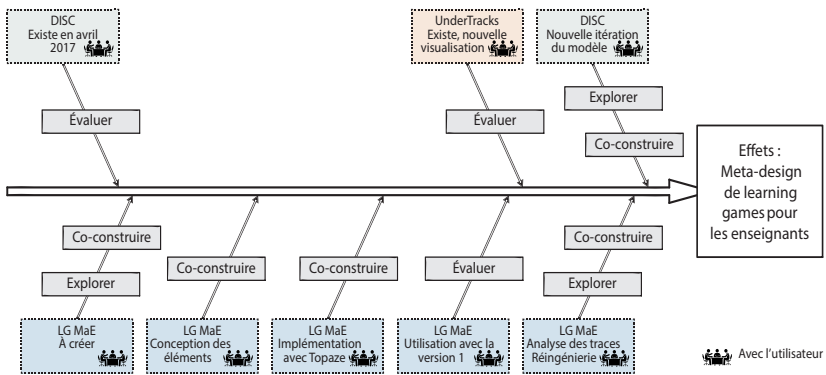


Figure 5 • Diagramme d'orchestration des outils activables DISC et du *learning game* Missions à Emosson

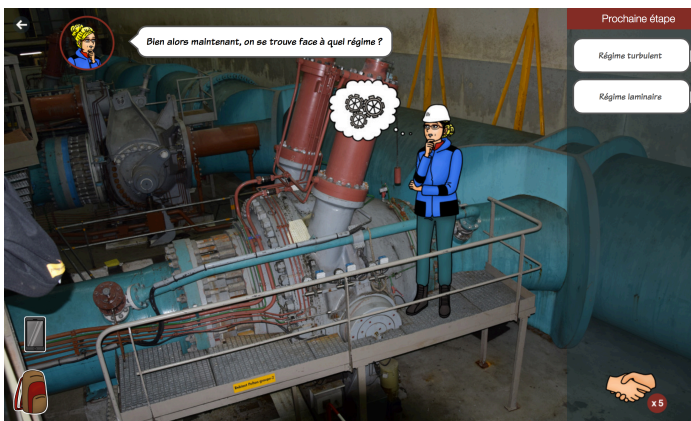


Figure 6 • Capture d'écran du *learning Game* Missions à Emosson

5.1. Définition du modèle de domaine, des objectifs et du contexte

La conception du *Learning Game* Missions à Emosson (MaE) a débuté en avril 2016. Une présentation du modèle DISC a été réalisée sous forme d'un entretien avec l'enseignant initiateur du projet. Cet entretien a permis de spécifier les livrables issus du modèle DISC attendus pour réaliser le *Learning Game*. Par la suite, l'enseignant a conçu le graphe du modèle du domaine D avec le soutien d'un ingénieur pédagogique. Nous avons construit ce graphe autour de quatre étapes E_1 , E_2 , E_3 et E_4 , ces dernières étant relatives aux quatre chapitres du MOOC correspondant aux quatre semaines de travail. Par exemple, E_2 a les mêmes prérequis et objectifs que le chapitre dynamique des fluides réels. Ce dernier point rend l'exercice aisé pour l'enseignant auteur et facilite la compréhension du concept de modèle du domaine. De fait, il a été alors très simple de définir les prérequis P_i et les objectifs pédagogiques O_i de chaque étape. Voyons un exemple illustrant cet aspect : l'étape E_2 est fondée sur le domaine D_2 contenant 14 compétences (dont neuf prérequis) et 18 liens entre elles. E_2 contient quatre études de cas indépendantes.

La structuration des Ec_{ij} a immédiatement suivi en fonction du graphe D . Les prérequis et objectifs étant définis pour chaque étape, l'enseignant a construit les études de cas en respectant l'acronyme P.I.S.T.E. (voir 3.2) à partir de situations réelles, des prérequis P_i et des objectifs O_i . Le contexte C a été spécifié en parallèle : l'activité est intégrée à un MOOC grand public, suivi simultanément par des étudiants de trois écoles d'ingénieur.

5.2. Conception du scénario et choix des interactions

Le modèle des études de cas a permis la création de huit missions, chacune étant une étude de cas, correspondant aux quatre étapes : deux missions pour E_1 , quatre pour E_2 , une pour E_3 et une pour E_4 (figure 7). L'enseignant a proposé ces étapes en fonction du découpage en chapitre utilisé dans son cours. Cette hiérarchie des étapes a été construite lors de la conception du modèle du domaine D . Une étape E_i est accessible si l'apprenant possède les prérequis P_i de E_i . Les compétences de P_i sont travaillées dans une étape E_j avec $i > j$.

Le graphe type des S_{ij} a rendu la création des scénarios des Ec_{ij} plus aisée et le travail de conception plus efficace. L'enseignant a été partiellement autonome sur cette phase, un appui sporadique de l'ingénieur

pédagogique a été nécessaire pour intégrer des éléments ludiques. Les interactions ont été choisies par l'enseignant en fonction du scénario des études de cas et des objectifs de chacune d'entre elles. Une première réalisation a permis de spécifier ces interactions ou de les modifier avec l'enseignant.

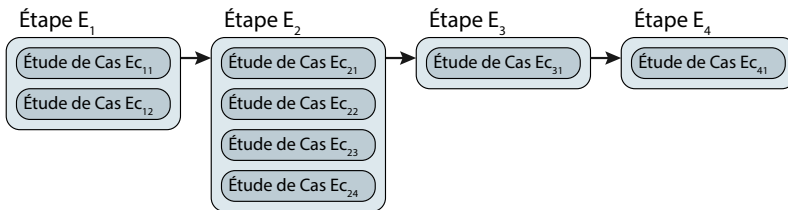


Figure 7 • Étapes et études de cas de MaE

Le *Learning Game* a été réalisé avec Topaze, un modèle documentaire pour la chaîne éditoriale Scenari (Quelennec, Vermeulen, Narce et Baillon, 2010). Ce modèle, conçu pour la création d'études de cas non linéaires numériques, est adaptable au modèle DISC et en particulier au modèle des $S_{i,j}$. La conception et le développement ont été étalés sur cinq mois et ont mobilisé quatre personnes : un enseignant, un ingénieur pédagogique et technique, une dessinatrice et un doctorant.

5.3. Première évaluation du modèle DISC

Nous avons organisé un entretien semi-directif avec l'enseignant auteur du *Learning Game* immédiatement après cette première expérimentation sur la base d'un guide d'entretien (entretien mené le 28 novembre 2016). Il s'agit d'un professeur de physique de 60 ans, peu à l'aise avec les outils informatiques, sensibilisé aux questions de pédagogie, mais novice en matière de *Learning Game*. Plusieurs éléments notables sont ressortis de cette rencontre.

L'enseignant a pointé les difficultés à définir le modèle du domaine a priori. Il souligne l'intérêt du fractionnement de cet élément et le rapprochement fait avec les chapitres du MOOC : « [...] J'ai associé les étapes avec les différents chapitres de cours, ce qui a facilité la création de celles-ci. Cela a aussi facilité la mise en place d'une progression adaptée dans la difficulté des étapes. »

De plus, la notion d'étape lui semble intéressante pour la création des études de cas intégrant une progression au fur et à mesure de l'avancée

dans le *Learning Game*. Le passage des exercices classiques de mécanique des fluides (avec application de connaissances) aux études de cas mobilisant des compétences a été délicat, mais revient à passer à une pédagogie par projet. La création des scénarios des études de cas a été facilitée par la présence de l'ingénieur pédagogique (ce point a été rappelé de nombreuses fois) et par l'usage du modèle de scénario avec les différents types d'activités. D'après l'enseignant, l'indépendance des missions (études de cas) a grandement facilité la conception de ces dernières en isolant les scénarios les uns des autres. De nouvelles missions sont d'ailleurs en gestation (en particulier pour les étapes E₃ et E₄).

Enfin la définition claire des missions de l'enseignant dans la conception a été appréciée : « Je savais ce que j'avais à faire, en particulier les documents à produire pour chaque élément [...], mais la collaboration avec Gaëlle [l'ingénieure pédagogique] était indispensable tout au long de la conception. »

Cette première évaluation est donc globalement positive. Pour autant, d'autres tests doivent être conduits pour valider ces premiers résultats avec d'autres enseignants.

6. L'enseignant dans la phase d'usage

Comme évoqué précédemment, Fischer fait intervenir deux temps dans le *Meta-Design* : la phase de conception et la phase d'usage. Le modèle DISC concerne principalement la phase de conception. Néanmoins, il a été conçu pour faciliter l'analyse des traces d'usage des étudiants par les enseignants, afin de leur permettre une réingénierie des *Learning Games*. Marne (2014) a montré l'importance de la réingénierie des *Serious Games* par les enseignants eux-mêmes pour permettre leur adoption par ces derniers. Choquet (2007) définit la réingénierie pédagogique d'un EIAH (et donc d'un *Learning Game*) comme « l'examen d'une situation pédagogique médiatisée et la modification du dispositif d'apprentissage (l'EIAH proprement dit, mais aussi son contexte, tel que le rôle des acteurs, le contexte d'usage, les possibilités d'observation de l'activité) afin de reconstituer ce dernier sous une nouvelle forme et mettre ainsi en place une nouvelle situation pédagogique, prenant mieux en compte les usages observés et l'évolution des pratiques pédagogiques. »

La réingénierie suppose donc une analyse globale de l'EIAH pour mettre en place une démarche d'amélioration de celui-ci à partir des données collectées auprès des acteurs gravitant autour de cet EIAH. Cette

analyse impose au préalable le recueil de ces données issues des usages de l'EIAH par les différents acteurs (Choquet et Iksal, 2007).

6.1. Analyse de traces d'usage des étudiants

Dans notre cas, les retours d'usage sont des fichiers de données et de logs qui décrivent le chemin pris par les étudiants au travers des graphes du scénario. Nous avons analysé ces données avec les enseignants (auteur et utilisateurs) dans le but de comparer le chemin attendu par les enseignants et le chemin pris par les étudiants (nous utiliserons les termes de « scénario attendu » et « scénario observé » (Pernin et Lejeune, 2004). Ce chemin reprend la structure du *Learning Game* conçu avec DISC, permettant ainsi d'analyser le chemin de l'étudiant au sein des études de cas $Ec_{i,j}$, mais aussi à l'échelle des étapes (figure 8).

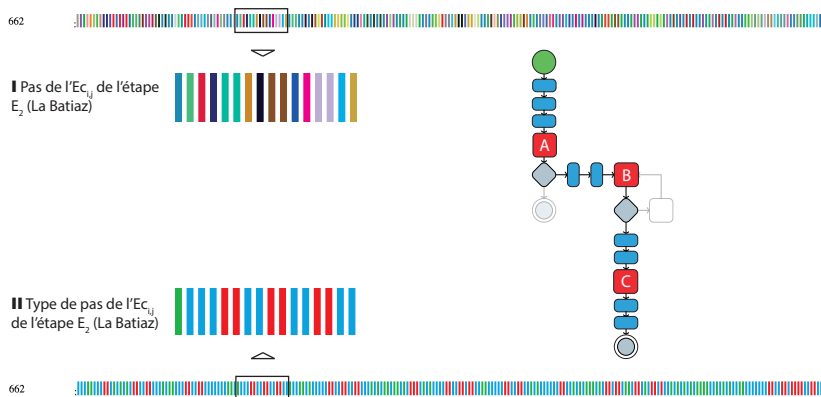


Figure 8 • Visualisations avec *Undertracks* du chemin de l'étudiant 662 avec focus sur l'étude de cas « La Batiaz » et du scénario associé

De précédents travaux avaient permis de repérer au sein des chemins des étudiants des séquences de pas fréquentes menant à des erreurs, pour un *Learning Game* différent conçu comme une activité d'un MOOC en statistique (Vermeulen *et al*, 2016). L'analyse, menée au printemps 2017 sur un échantillon de 872 chemins distincts pour 609 étudiants uniques de l'ESTP (École Spéciale des Travaux Publics, une école d'ingénieur), a été réalisée par les enseignants avec l'objectif d'évaluer la difficulté du *Learning Game* Missions à Emosson et les potentiels points de blocage pour les étudiants. Étant donné le nombre important d'activités néces-

saires pour réaliser le jeu, une analyse manuelle par les enseignants est trop complexe et demande trop d'efforts et de temps.

Ainsi, pour faciliter le travail des enseignants nous avons opté pour deux types de visualisations, toutes deux réalisées à l'aide de la plateforme *Undertracks* (Mandran *et al.*, 2015), un outil conçu par le laboratoire informatique de Grenoble (LIG) pour capitaliser et analyser les données d'usage (<http://undertracks.imag.fr>). La première donne une visualisation des pas ordonnés chronologiquement, une couleur donnée étant associée à un pas unique (figure 8, I en haut). La seconde affiche les mêmes pas dans le même ordre, mais la couleur correspond au type de pas (figure 8, II en bas):

- en vert, le pas correspondant au choix de la mission dans une étape donnée (pas de navigation);
- en bleu, les pas expositifs (introduction, exposé du cas dans les $S_{i,j}$, pas narratifs ou de contenu le cas échéant);
- en rouge, les pas correspondant aux interactions dans les activités des $S_{i,j}$ (de type A, B ou C).

Ces visualisations ont été mises en relation avec les données chiffrées brutes: temps passé, scores, etc. Ces éléments ont été proposés aux enseignants lors d'un entretien libre, afin de recueillir leurs propres éléments d'analyse.

6.2. Résultat de l'analyse avec les enseignants et choix pour la réingénierie

Un premier entretien a été mené fin août 2017 avec l'enseignant auteur du *Learning Game Missions* à Emosson. Ce dernier a très vite exprimé les limites de l'exercice face au grand nombre de données disponibles. Néanmoins il a pointé plusieurs éléments intéressants:

- 1) le temps de réalisation avec succès anormalement court pour un certain nombre d'étudiants, parfois largement inférieur à quatre heures (la durée de jeu a été estimée entre quatre et huit heures);
- 2) le nombre important d'étudiants ayant consulté les supports de cours durant de jeu (détecté à l'aide de la première visualisation);
- 3) la quasi-impossibilité de sortir du jeu avec un *Game-Over*;
- 4) le grand nombre d'étudiants ayant réalisé au moins deux fois une des huit études de cas (détecté à l'aide de la seconde visualisation), avec un meilleur résultat dans les tentatives suivantes.

**Mathieu VERMEULEN, Nadine MANDRAN,
Jean-Marc LABAT, Gaëlle GUIGON**

L'enseignant a fait plusieurs hypothèses pour expliquer ces observations, hypothèses appuyées par les autres enseignants utilisateurs du *Learning Game*. Pour expliquer le temps très court (point 1), les enseignants avancent un partage des réponses et des bons choix entre étudiants. Cette hypothèse a été validée après le *Debriefing* (ou séance de verbalisation) avec les étudiants qui a suivi l'utilisation du jeu (Lederman, 1992). Les étudiants ont mis en avant leur impatience à découvrir les illustrations et le scénario du jeu. Le second point semble montrer l'intérêt d'intégrer ces supports de cours au jeu : l'apprenant reste dans le jeu, mais peut consulter des ressources utiles pour sa progression dans le scénario. Le point 3 est expliqué par un trop grand nombre de récompenses en point de confiance (l'équivalent des points de vie) et le trop faible nombre de pertes de ces points, rendant le jeu trop facile. Enfin le quatrième point semble renforcer d'une part l'intérêt du choix des études de cas à réaliser et, d'autre part, celui du scénario non linéaire.

À la suite de ces observations, les enseignants ont fait des propositions pour améliorer le *Learning Game*, menant ainsi à une réingénierie de Missions à Emosson. Le point 1 a surtout influencé l'intégration du jeu au sein du dispositif pédagogique. Les enseignants ont intégré le jeu comme fil conducteur des travaux pratiques donnés aux étudiants, ces derniers réalisant les études de cas en présentiel, et comme activités libres pour les autres apprenants du MOOC. Le point 3 a amené à supprimer une partie des récompenses de point de confiance et à modifier le calcul des scores dans le jeu. L'enseignant propose par ailleurs une réflexion autour du *Debriefing* mis en place à l'issue de l'utilisation du jeu pour permettre d'une part l'explication des résultats obtenus par les étudiants, et d'autre part la prise de conscience des compétences acquises tout au long du *Learning Game*. La nouvelle version de Mission à Emosson a été intégrée à la troisième session du MOOC.

7. Conclusion et perspectives

À la suite de l'étape de réingénierie, la nouvelle version du *Learning Game* Missions à Emosson a été déployée pour la troisième session du MOOC Introduction à la mécanique des fluides en septembre 2017. Plus de 1100 élèves ingénieurs ont utilisé le jeu soit comme une activité d'auto-évaluation, soit comme support aux travaux dirigés dans un dispositif de classe inversée. Sept enseignants ont suivi cet usage et ont participé à une nouvelle analyse des traces d'usage. Cette analyse favorisera une nouvelle étape de réingénierie du *Learning Game*. Le travail mené et présenté dans

cet article, ainsi que cette nouvelle phase d'usage mèneront à l'amélioration du modèle DISC, en travaillant à nouveau les éléments constitutifs de celui-ci, en particulier l'explicitation des types d'activités. Nous réaliserons ainsi un nouveau cycle de recherche selon la méthode THEDRE.

Cette amélioration se fera aussi au travers de la conception d'autres *Learning Games* avec d'autres enseignants, dans les mois à venir, en utilisant d'autres outils de développement. En particulier, la conception d'un *Learning Game* baptisé *Smellville* en chimie environnementale a débuté en mai 2017 avec un groupe de quatre enseignants. L'analyse des traces d'usage des apprenants étant un exercice difficile pour les enseignants, nous poursuivrons le travail sur la visualisation de ces traces par et pour ce public avec *Undertracks*. Il s'agit par exemple d'identifier automatiquement les études de cas au sein du chemin pris par les étudiants et de proposer une nouvelle visualisation aux enseignants. Une autre piste est d'utiliser des algorithmes de fouille de données pour repérer des séquences de pas fréquentes (Guerra *et al.*, 2014) au sein des chemins des apprenants pour identifier des comportements intéressants: erreurs fréquentes, sorties du jeu avant la fin de celui-ci, etc.

D'une manière générale, le travail présenté marque une étape vers le *Meta-Design* des *Learning Games*. En dehors de ces derniers, le *Meta-Design* est une approche intéressante qui, bien que définie initialement par Fischer pour la conception de logiciels, pourrait être étendue à d'autres domaines. Les travaux décrits ici peuvent mener à la mise en place d'une approche *Meta-Design* des activités ou dispositifs pédagogiques avec ou sans usage du numérique. Cette approche peut aussi favoriser la montée en compétences des enseignants, en les impliquant fortement dans l'analyse des usages des outils et dispositifs qu'ils conçoivent, et même, par la facilitation de la collaboration multidisciplinaire, l'émergence d'innovations pédagogiques.

RÉFÉRENCES

Alvarez, J., Plantec, J.-Y., Vermeulen, M. et Kolski, C. (2017). RDU Model dedicated to evaluate needed counsels for Serious Game projects. *Computers & Education*, 114, 38-56. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.06.007>

**Mathieu VERMEULEN, Nadine MANDRAN,
Jean-Marc LABAT, Gaëlle GUIGON**

Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Raths, J., Merlin C. et Wittrock, M. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy*. New York, NY : Longman.

Avenier, M.-J. (2009). *A methodological framework for constructing generic knowledge with intended value both for academia and practice* (Cahiers de recherche, n° 2009-01 E4). CERAG, Université de Grenoble. Récupéré de l'Archive HAL : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00526616/document>

Bowker, G. C. et Star, S. L. (2000). *Sorting things out: Classification and its consequences*. MIT press.

Carvalho, M. B., Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., Sedano, C. I., Hauge, J. B., JU, J. et Rauterberg, M. (2015). An activity theory-based model for serious games analysis and conceptual design. *Computers & Education*, 87, 166-181.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.023>

Choquet, C. (2007). *Ingénierie et réingénierie des EIAH - L'approche REDiM* (Mémoire HDR, Université du Maine, Le Mans, France). Récupéré de l'Archive HAL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00276225/>

Choquet, C. et Iksal, S. (2007). Modélisation et construction de traces d'utilisation d'une activité d'apprentissage : une approche langage pour la réingénierie d'un EIAH. *Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation (STICEF)*, 14. Récupéré de : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2007/14-choquet/sticef_2007_choquet_14p.pdf

Cohn, M. (2004). *User stories applied: For agile software development*. Addison-Wesley Professional.

Daniau, S. (2005). *Jeu de Rôle Formatif et maturation des adultes - Co-recherche-action-formation et approche écobiosychosociale* (Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III). Récupéré de : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00167629/>

Egenfeldt-Nielsen, S. (2004). Practical barriers in using educational computer games. *On the Horizon*, 12(1), 18-21.

Fabricatore, C. (2000). *Learning and videogames: An unexploited synergy*. Communication présentée au *Workshop In Search of the Meaning of Learning, Annual Convention of the Association for Educational Communications and Technology (AECT)*, Long Beach, CA. Récupéré de : <http://eprints.hud.ac.uk/28000>.

Fischer, G., Giaccardi, E., Ye, Y., Sutcliffe, A. G. et Mehandjiev, N. (2004). Meta-design: a manifesto for end-user development. *Communications of the ACM*, 47(9), 33-37.

Guerra, J., Sahebi, S., Lin, Y.-R. et Brusilovsky, P. (2014). The problem solving genome: Analyzing sequential patterns of student work with parameterized exercises. Dans *Proceedings of the 7th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2014)* (p.153-160). Récupéré de http://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/long%20papers/153_EDM-2014-Full.pdf

Lederman, L. C. (1992). Debriefing: Toward a systematic assessment of theory and practice. *Simulation & Gaming*, 23(2), 145-160.
<https://doi.org/10.1177/1046878192232003>

Mandran, N. et Dupuy-Chessa, S. (2017). THEDRE: A Traceable process for high quality in human centred computer science research. Dans N. Paspallis, M. Raspopoulos, C. Barry, M. Lang, H. Linger et C. Schneider (dir.), *Proceedings of the 26th*

International Conference on Information Systems Development (ISD 2017). Larnaca : University of Central Lancashire Cyprus.

Mandran, N., Ortega, M., Luengo, V. et Bouhineau, D. (2015). DOP8: Merging both data and analysis operators life cycles for technology enhanced learning. Dans *Proceedings of the Fifth International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK 2015)* (p. 213-217). New York, NY : ACM.

Marchiori, E. J., Torrente, J., del Blanco, Á., Moreno-Ger, P., Sancho, P. et Fernández-Manjón, B. (2012). A narrative metaphor to facilitate educational game authoring. *Computers & Education*, 58(1), 590-599.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.09.017>

Marfisi-Schottman, I. (2012). *Méthodologie, modèles et outils pour la conception de Learning Games* (thèse de doctorat, INSA de Lyon, France). Récupéré de : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00762855/>

Marfisi-Schottman, I., Labat, J.-M. et Carron, T. (2013). Approche basée sur la méthode pédagogique des cas pour créer des Learning Games pertinents dans de nombreux domaines d'enseignement. Dans *Actes de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH'2013)* (p.67-78). Récupéré de <https://www.irit.fr/EIAH2013/uploads/ActesEIAH2013.pdf>

Mariais, C., Michau, F., Pernin, J.-P. et Mandran, N. (2011). Learning Role-Playing Games : méthodologie et formalisme de description pour l'assistance à la conception. Premiers résultats d'expérimentation. Dans *Actes de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH'2011)* (p.95-107). Mons, Belgique : UMONS. Récupéré de : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00605892/file/Mariais-Christelle-EIAH2011.pdf>

Marne, B. (2014). *Modèles et outils pour la conception de jeux sérieux : une approche meta-design* (thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France). Récupéré de : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01134701/>

Marne, B. et Labat, J.-M. (2014). Model and authoring tool to help teachers adapt serious games to their educational contexts. *International Journal of Learning Technology*, 9(2), 161-180.

Marne, B., Wisdom, J., Huynh-Kim-Bang, B. et Labat, J.-M. (2012). The six facets of serious game design: A methodology enhanced by our design pattern library. Dans *Proceedings of the 21st Century Learning for 21st Century Skills (EC-TEL 2012)* (p.208-221).

Melero, J., El-Kechaï, N. et Labat, J.-M. (2015). Comparing two CbKST approaches for adapting learning paths in serious games. Dans *Design for Teaching and Learning in a Networked World, Proceedings of the 10th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2015)* (p. 211-224). Cham, Suisse : Springer.

Pernin, J.-P. et Lejeune, A. (2004). Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios. Dans *Actes du colloque Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et dans l'Industrie (TICE 2004)* (p. 407-414).

Quelennec, K., Vermeulen, M., Narce, C. et Baillon, F. (2010). De l'industrialisation à l'innovation pédagogique avec une chaîne éditoriale. Dans *Actes du 7^{me} colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement (TICE 2010)*. Récupéré de : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01169404/document>

**Mathieu VERMEULEN, Nadine MANDRAN,
Jean-Marc LABAT, Gaëlle GUIGON**

Reimann, P., Kickmeier-Rust, M. et Albert, D. (2013). Problem solving learning environments and assessment: A knowledge space theory approach. *Computers & Education*, 64, 183-193. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.024>

Rowe, J. P., Shores, L. R., Mott, B. W. et Lester, J. C. (2011). Integrating learning, problem solving, and engagement in narrative-centered learning environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 21(1-2), 115-133.

Sanchez, E., Emin-Martinez, V. et Mandran, N. (2015). Jeu-game, jeu-play, vers une modélisation du jeu. Une étude empirique à partir des traces numériques d'interaction du jeu Tamagocours. *Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation (STICEF)*, 22(1), 9-44.

Sokovic, M., Pavletic, D. et Pipan, K. K. (2010). Quality improvement methodologies-PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43(1), 476-483.

Vermeulen, M. (2016). Un modèle formel de jeux sérieux de type étude de cas pour l'enseignement supérieur : le modèle DISCO. Dans *Actes des 6^e Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH (RJC'EIAH 2016)* (p.119-124). Récupéré de : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01322650/document>

Vermeulen, M., Fleury, A., Fronton, K. et Laval, J. (2015). Les ALPES : Approches agiles Pour l'Enseignement Supérieur. Dans *Actes du 8^{ème} Colloque Questions de Pédagogie pour l'Enseignement Supérieur (QPES 2015)*(p. 243-247).

Vermeulen, M., Laval, J., Serpaggi, X. et Pinot, R. (2017). Soyez agiles dans les A.L.P.E.S. ! Une pédagogie en mode agile. Dans *Actes du 9^{ème} Colloque Questions de Pédagogie dans l'Enseignement Supérieur (QPES 2017)* (p. 845-852). Récupéré de HAL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01503723/document>

Vermeulen, M., Mandran, N. et Labat, J.-M. (2016). Chronicle of a scenario graph: From expected to observed learning path. Dans *Proceedings of 11th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2016)* (p.321-330). Springer International. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4_24

Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard university press.

Yusoff, A., Crowder, R., Gilbert, L. et Wills, G. (2009). A Conceptual Framework for Serious Games. Dans *Proceedings of Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2009)* (p. 21-23). <https://doi.org/10.1109/ICALT.2009.19>



Suivre l'engagement des apprenants dans l'activité de construction de cartes mentales

► **Rubiela CARRILLO** (LIRIS, Université Claude Bernard Lyon 1),
Yannick PRIÉ (LS2N, Université de Nantes),
Leslie GUILLAUME (IFE, École Normale Supérieure de Lyon),
Élise LAVOUÉ (LIRIS, Université Jean Moulin Lyon 3)

■ **RÉSUMÉ** • Notre travail a pour objectif d'aider les enseignants à suivre l'engagement des apprenants pendant des activités de construction de cartes mentales. Les cartes mentales sont utilisées pour aider les apprenants à organiser les contenus étudiés en classe. Étant donnée la complexité des cartes, les enseignants ont besoin d'outils qui assistent la compréhension des cartes produites et de leur processus de construction. Nous avons défini avec des enseignants un ensemble d'indicateurs d'engagement, reposant sur les traces d'interaction des apprenants. Ces indicateurs ont été implémentés dans un tableau de bord à destination des enseignants. Cet article présente la première version du tableau de bord implémenté, sa conception, son implémentation et les résultats d'une évaluation sur les aspects d'utilisabilité et d'utilité.

■ **MOTS-CLÉS** • engagement, tableau de bord, carte mentale, visualisation, traces d'interaction, xAPI

■ **ABSTRACT** • *Our work aims at helping teachers to monitor learners' engagement during mind mapping activities. Teachers use mind maps to make students organize topics and learn contents. To assess these mind maps, teachers need tools to understand students' choices during construction. In collaboration with teachers we have defined a set of indicators based upon learners' interaction traces. Those indicators have been implemented in a dashboard dedicated to teachers. In this paper, we introduce the first version of the dashboard and describe its design, implementation, and the results of an evaluation based on usability and utility aspects.*

■ **KEYWORDS** • *engagement, dashboard, mind mapping, visualization, interaction traces, xAPI*

1. Introduction

L'utilisation de cartes mentales et de cartes conceptuelles en classe est une pratique de plus en plus répandue (Eppler, 2006). Ce type d'exercice permet aux élèves de mettre en place des stratégies personnelles d'apprentissage en élaborant et en organisant les contenus étudiés. Les enseignants considèrent que la richesse d'expression offerte aux élèves qui élaborent des cartes mentales est un des points forts de cet outil. Cette richesse devient cependant un défi lorsqu'ils doivent interpréter et évaluer les productions des élèves. Comme les exercices demandés n'ont pas de solution unique, comprendre les processus de construction de chaque carte mentale devient précieux. C'est de plus dans ces processus de construction que les enseignants peuvent trouver des réponses sur les choix particuliers ayant conduit les élèves à construire telle ou telle carte finale.

L'objectif de notre travail est de proposer aux enseignants des indicateurs qui reflètent la manière dont les apprenants s'engagent tout au long de l'activité de construction de cartes mentales. Il s'agit de fournir aux enseignants des éléments soutenant une éventuelle intervention. De tels éléments ne peuvent être déterminés uniquement à partir de la carte finale, l'engagement des apprenants ayant lieu tout au long du processus de construction de la carte. Nous proposons d'aborder l'engagement dans ses dimensions comportementale et cognitive (Fredricks *et al.*, 2004). Les indicateurs d'engagement comportemental traduisent entre autres la manière dont les apprenants utilisent un outil (p. ex. nombre et types d'actions), alors que les indicateurs d'engagement cognitif reflètent le processus de construction des cartes mentales (p. ex. création et suppression de nœuds et liens). La construction des indicateurs s'appuie sur les traces d'activité collectées lors de l'utilisation de l'outil de construction de cartes mentales.

Dans cet article nous répondons à deux questions de recherche :

- Quels indicateurs permettent le suivi de l'engagement lors de la construction de cartes mentales ?
- Comment représenter ces indicateurs dans un tableau de bord ?

Nous proposons différents indicateurs pour le suivi de l'engagement des apprenants que nous avons définis à partir d'entretiens avec les enseignants, ainsi qu'un tableau de bord construit à partir des traces d'activité des élèves. Une première évaluation de ces indicateurs et du tableau de bord a été réalisée.

La première section de l'article est dédiée à la présentation des cartes mentales comme support pour la construction de connaissances, aux propositions qui ont été faites pour les évaluer, à la notion d'engagement scolaire, et à une revue des tableaux de bord présentant des indicateurs d'engagement. La deuxième section est consacrée à la démarche de conception que nous avons utilisée pour définir les différents indicateurs et concevoir leurs visualisations. La troisième section présente nos propositions d'indicateurs, le tableau de bord développé et l'architecture d'implémentation choisie. La dernière section décrit la démarche suivie pour valider notre tableau de bord. Les résultats de cette validation sont présentés et discutés en vue du travail futur.

2. État de l'art

2.1. Évaluation des cartes mentales

2.1.1. Les cartes mentales

Les cartes mentales sont des listes de mots structurées et organisées en arborescence pour représenter une idée, un concept, un projet, un plan (Buzan *et al.*, 2012). Les cartes conceptuelles sont des schémas utilisés pour organiser et représenter des relations entre des concepts (Novak et Cañas, 2007). Malgré ces différences, ces deux types de diagrammes ont en commun la représentation graphique de relations, au lieu de descriptions verbales ou écrites (Davies, 2011). Généralement, les éléments représentant des idées ou des concepts sont identifiés comme des « nœuds » et les relations entre ceux-ci comme des « liens ». Dans le travail présenté ici, nous utilisons un outil de construction de cartes mentales appelé Renkan (<https://www.iri.centrepompidou.fr/outils/renkan/>). Cet outil permet de construire des graphes dans un navigateur et d'y intégrer facilement des ressources issues du Web. Renkan a été développé par l'IRI (Institut de Recherche et d'Innovation du Centre Pompidou), un des partenaires du projet de recherche MétaÉducation qui finance notre travail.

La figure 1 présente un exemple de carte mentale construite avec Renkan sur le sujet « Madame Bovary ». Les images qui apparaissent dans certains nœuds correspondent à des ressources Web associées : par exemple, le nœud carré « Madame Bovary » est associé à une image de la couverture du livre ; le nœud « L'avant-roman : genèse et manuscrit », à gauche, présente l'image d'un livre ouvert ; le nœud « L'après-roman : procès et répercussions », à droite, est illustré par l'image d'une balance. Les liens peuvent être nommés et dirigés pour spécifier la relation entre

ceux basés sur la sémantique de la carte nous avons la pertinence des concepts et leur complétude, ainsi que la justesse des propositions. L'évaluation de ces indicateurs permet d'assigner une note finale à la carte qui correspond à son niveau de qualité (p. ex. très haut, haut, intermédiaire, bas, très bas, non évalué). Ces propositions d'évaluation sont basées uniquement sur les cartes finales, et les calculs d'indicateurs à la main rendent leur application difficile en conditions réelles lorsque le nombre d'apprenants est important.

Cmapanalysis (Cañas, Bunch, Novak et Reiska, 2013) est un outil informatique qui calcule des indicateurs de structure à partir de fichiers produits avec le logiciel de construction de cartes mentales *CmapTools*. *Cmapanalysis* permet d'obtenir des indicateurs tels que le nombre de concepts (*i.e.* nombre de nœuds), le nombre de liens nommés, le nombre de liens d'un concept, ainsi que de réaliser des comparaisons entre les propositions présentes dans la carte et celles attendues à partir d'une liste de propositions prédéterminée. Les auteurs définissent ici une proposition comme une paire de nœuds connectés par un lien nommé. Cette solution est envisageable pour des classes entières d'apprenants, mais reste limitée à l'analyse des cartes finales.

Ces modes d'évaluation sont basés sur les cartes finales et ont par ailleurs été conçus pour des cartes strictement hiérarchiques.

2.2. L'engagement scolaire et les stratégies d'apprentissage

Les approches conceptuelles existantes fournissent des définitions variées de la notion d'engagement scolaire, tour à tour compris comme effort, intérêt, persistance, motivation ou encore stratégie d'apprentissage (Molinari *et al.*, 2016).

Nous choisissons d'associer notre étude aux travaux des chercheurs qui considèrent l'engagement des apprenants selon trois dimensions complémentaires : motivationnelle, comportementale et cognitive (Fredricks, Blumenfeld et Paris, 2004 ; Linnenbrick et Pintrich, 2003).

L'engagement motivationnel correspond à l'intérêt, l'affect et la valeur perçue par les étudiants lorsqu'ils réalisent des tâches d'apprentissage (Linnenbrick et Pintrich, 2003). Plusieurs travaux ont montré comment les émotions (positives ou négatives) impactent le processus d'apprentissage (Pekrun, Goetz, Titz et Perry, 2002 ; Zeidner, 2007). Nous

ne considérons pas cette dimension de l'engagement dans la suite de notre étude.

L'engagement comportemental fait référence aux comportements observables, aux actions de l'apprenant répondant à une tâche scolaire, et à sa conduite positive, telle que sa participation à des activités collectives extrascolaires (Fredricks *et al.*, 2004). Dans des activités de construction de cartes, accéder à la carte, prendre du temps pour la construire et définir des nœuds et liens représentant des idées et leurs associations sont autant d'actions traduisant un engagement comportemental.

L'engagement cognitif est quant à lui lié à la mise en place de stratégies d'apprentissage. Ces stratégies peuvent être cognitives, d'auto-régulation, ou de gestion de ressources (Pintrich, 1999). Les stratégies cognitives d'élaboration et d'organisation comme la sélection des idées principales, la synthèse, l'organisation spatiale et logique des notes prises, et l'élaboration de cartes mentales ou conceptuelles exigent une réflexion approfondie, favorisant le traitement des contenus pédagogiques chez l'apprenant (Linnenbrick et Pintrich, 2003). Nous pensons que les actions effectuées lors de la composition d'une carte mentale et associées à leur temporalité peuvent être considérées comme des révélateurs de l'engagement cognitif de l'apprenant.

Les travaux sur les outils d'évaluation des cartes mentales (cf. 2.1.2) s'intéressent à l'évaluation des cartes finales sans prendre en compte leur dynamique de construction, et aucun de ces travaux ne se réfère au suivi de l'engagement des créateurs des cartes. Nous pensons que des indicateurs obtenus de façon automatique à partir des processus de construction et mis à disposition via des visualisations, peuvent compléter et enrichir les indicateurs issus des cartes finales, et assister les enseignants dans le suivi et l'évaluation des cartes de leurs élèves. Dans la section suivante, nous présentons différents travaux proposant des tableaux de bord orientés évaluation de l'engagement des apprenants à l'aide d'indicateurs obtenus à partir des traces d'activités pédagogiques.

2.3. Tableaux de bord des activités d'apprentissage pour évaluer l'engagement

De nombreux travaux de recherche proposent des visualisations de l'engagement comportemental des apprenants à partir de leurs traces d'interaction. Le tableau de bord du cours *Signals* de Purdue (Arnold et Pistilli, 2012) présente par exemple des indicateurs de risque avec des

codes couleur obtenus à partir des actions des apprenants et de leurs résultats académiques ; *Data Wranglers* (Clow, 2014) présente les visites sur des forums, pages, wikis, et tests en cours ; GLASS (Leony, Pardo, de la Fuente Valentin, de Castro et Kloos, 2012) propose des indicateurs de fréquence d'actions par groupe de travail et par type d'activité ; VISEN (Yousuf et Conlan, 2015) présente des indicateurs construits à partir de clics, durées, et des résultats de tests ; enfin le tableau de bord défini par Santos, Govaerts, Verbert et Duval (2012) montre le temps passé sur des activités (p.ex. par outil utilisé, par étudiant en comparaison avec la moyenne). Ces indicateurs et leurs visualisations restent au niveau des actions décrivant l'engagement comportemental des apprenants, mais ne sont pas suffisants pour permettre de comprendre pourquoi les apprenants se sont engagés ou non dans des activités, et la manière dont ils ont obtenu leurs résultats.

D'autres propositions orientées comportement exploitent des techniques de visualisation afin de favoriser l'exploration des actions des apprenants. SAM (Govaerts, Verbert, Duval et Pardo, 2012) représente les informations avec plusieurs types de visualisation (lignes de temps, coordonnées parallèles) permettant d'y découvrir des détails sur ce que font les apprenants afin d'améliorer l'*awareness* des enseignants et des mêmes étudiants. Cependant, ces représentations restent des résultats de calculs globaux (p. ex. temps dédié aux activités pendant une période, ressources utilisées) trop limités pour expliquer les actions. *Mastery Grids* (Loboda, Guerra, Hosseini et Brusilovsky, 2014) présente une grille avec les thèmes d'étude et les ressources associées. L'accomplissement des activités peut être appréhendé par thème et par sous-thème selon un code couleur et via l'interaction avec la grille. Une ligne de temps indique la semaine actuelle du cours, mais ne permet pas de savoir précisément quand les apprenants ont effectué leurs actions. L'aspect cognitif de l'engagement n'est pas abordé, ni les stratégies utilisées par les apprenants au cours de la réalisation des activités pédagogiques.

D'autres approches appliquent des techniques de fouille de données et des analyses statistiques sur les traces d'interaction des apprenants afin de visualiser des typologies de comportement. Desmarais et Lemieux (2013) présentent des visualisations de séquences d'activités en fonction des types de comportement identifiés. Anderson, Huttenlocher, Kleinberg et Leskovec (2014) représentent le pourcentage d'apprenants par profil de comportement dans le temps (p. ex. ceux qui regardent les lectures, ceux qui résolvent les exercices, ceux qui ont la même proportion entre lecture

et résolution d'exercices, ceux qui téléchargent les cours, ceux qui ne font que s'enregistrer dans le cours, tandis que Coffrin, Corrin, Barba et Kennedy (2014) construisent des séquences d'états représentant les transitions entre les ressources et les contenus pédagogiques. Les utilisateurs de tels systèmes doivent avoir des compétences en analyse et en traitement des données, car les visualisations des résultats ne sont pas générées automatiquement.

En résumé, les tableaux de bord proposent généralement des indicateurs de participation permettant de décrire le comportement des élèves. Ces indicateurs peuvent cependant difficilement expliquer ces comportements, et encore moins l'effort cognitif ou les stratégies d'apprentissage mises en place. De plus, la plupart des travaux qui s'intéressent à estimer l'engagement cognitif utilisent des techniques d'observation et des questionnaires auto-rapportés (Fredricks *et al.*, 2004) et ne proposent pas une mise en relation de ces indicateurs avec ceux de l'engagement comportemental permettant de favoriser la compréhension des actions et des résultats des apprenants.

3. Démarche de conception

Nous avons suivi une démarche de conception itérative, au cours de laquelle les enseignants ont été invités à participer activement à la définition des indicateurs et du tableau de bord. Dans cette section, nous présentons les entretiens semi-dirigés que nous avons conduits à l'aide de maquettes d'interface pour définir les indicateurs et leur représentation.

3.1. Entretiens préliminaires avec les enseignants

3.1.1. Participants et procédure

Nous avons mené une première série d'entretiens auprès de 5 enseignants ayant déjà utilisé des cartes mentales dans leurs pratiques pédagogiques et ayant participé à un premier atelier au cours duquel nous avons présenté l'outil Renkan. Ces enseignants de collèges et lycées étaient spécialisés dans les matières suivantes : histoire et géographie (2 enseignants), sciences et technologies du management et de la gestion (1), arts plastiques (1), et sciences de la vie et de la terre (1). Les établissements des enseignants participaient en tant que terrain d'expérimentation au projet MétaÉducation.

L'objectif des entretiens préliminaires a porté particulièrement sur l'identification des usages des cartes mentales en classe, et sur les attentes

en termes de suivi et d'évaluation des apprenants lors des exercices de construction des cartes.

Les enseignants ont répondu à un ensemble de questions sur l'intérêt pédagogique d'utiliser les cartes mentales avec leurs élèves. Pour les aider à se mettre en situation, nous avons soumis à discussion un scénario d'usage de cartes mentales en classe. Nous avons pris des notes et enregistré les réponses des enseignants.

3.1.2. Résultats

Nous avons identifié trois principaux usages de cartes mentales à partir de ces entretiens préliminaires :

- 1) comme bilan pour synthétiser un chapitre étudié en classe ;
- 2) comme exercice avant et après l'étude d'un chapitre en classe afin de réorganiser, compléter et, si besoin, corriger des idées anticipées ;
- 3) comme support pour présenter à l'oral la synthèse d'un chapitre étudié en classe.

Les enseignants ont précisé qu'ils donnaient aux élèves la même consigne et que le même thème était imposé.

Le premier usage des cartes mentales est le plus fréquent. Les élèves peuvent créer la carte au cours d'une séance sur un chapitre étudié en classe, en la reprenant au cours de plusieurs séances si besoin. La carte finale est le rendu du travail de l'élève et elle doit refléter la synthèse du chapitre. Dans le deuxième cas, l'enseignant demande à ses élèves de construire une carte mentale sur un chapitre qui sera étudié plus tard afin de déterminer leurs connaissances *a priori* sur le sujet, la carte sera enrichie une fois le chapitre terminé. Cet exercice suscite aussi chez les élèves une réflexion sur leurs propres connaissances. Le troisième usage des cartes consiste à les utiliser comme un support pour réaliser des présentations orales sur un sujet spécifique. La présentation orale permet de vérifier la compréhension du sujet par les élèves. Les deux premiers usages nous intéressent plus particulièrement parce qu'ils mettent en œuvre la construction et l'évaluation des cartes mentales. Le troisième cas a été écarté, car c'est la présentation orale qui est l'objet de l'évaluation.

Les enseignants soulignent leur difficulté à comprendre pourquoi certaines cartes construites par les apprenants ne proposent pas de représentations cohérentes du sujet d'étude. Ils ont également remarqué le temps considérable qu'ils prennent pour les interpréter et les évaluer. La difficulté à interpréter les cartes mentales a par exemple été comparée par

**Rubiela CARRILLO, Yannick PRIÉ,
Leslie GUILLAUME, Élise LAVOUÉ**

un enseignant à la difficulté à apprendre une nouvelle langue. Cet enseignant a défini les cartes mentales comme « *un mode de communication qui est plus compliqué à comprendre qu'à produire* ».

Plusieurs enseignants ont plus particulièrement fait état d'un manque d'indices permettant d'identifier rapidement les élèves qui ont eu des difficultés pendant la construction de la carte. Des comportements pouvant indiquer de telles difficultés ont notamment été proposés, tels que des démarrages tardifs, des nœuds et des liens hors sujet en grande quantité, des hésitations et des tâtonnements (identifiables par la création, la suppression et la recréation de nœuds sans aboutir), ou bien l'absence de relations établies entre les idées (beaucoup de nœuds qui restent isolés).

Nous avons proposé, à partir de ces retours, des maquettes d'indicateurs sur la construction des cartes mentales des élèves en vue d'aider les enseignants dans la phase d'évaluation.

3.2. Maquettes et visualisations d'indicateurs

3.2.1. Participants et procédure

Les cinq enseignants qui ont participé aux entretiens préliminaires ont été invités à donner leurs avis face à des maquettes numériques représentant des indicateurs de suivi sur la construction de cartes mentales. L'objectif de la discussion sur les maquettes était d'identifier la nature des indicateurs pertinents, leurs possibles visualisations, et de faire évoluer les propositions jugées les plus parlantes par les enseignants.

Les enseignants devaient regarder et commenter les maquettes en se projetant sur leurs usages. L'objectif de cette technique a été de connaître les ressentis et les premières pensées au vu des informations proposées sur les maquettes. Les enseignants étaient libres de s'exprimer et de dire à tout moment ce qu'ils ne comprenaient pas ou ce qu'ils trouvaient parlant et utile. Les discussions ont été enregistrées. Les résultats de ces analyses sont présentés dans la section suivante.

3.2.2. Résultats

Nous avons considéré différents indicateurs de l'engagement comportemental de l'apprenant : le nombre d'éléments (*i.e.* nœuds et/ou liens) de la carte finale, le nombre de nœuds avec des médias ou ressources Web associées, et le nombre d'actions (création, suppression, modification, déplacement) réalisées sur les éléments. La figure 2 présente pour chaque

élève de la classe, sous la forme de diagrammes en barres empilées, les nombres :

- 1) de nœuds sans ressources Web associées (nommés « concepts » sur l'image),
- 2) de nœuds avec des ressources Web associées (« ressources »),
- 3) de liens sur la carte finale.

Ces barres empilées permettent de mettre en avant la proportion de nœuds sans et de nœuds avec ressources Web associées. Les couleurs identifient ces deux types d'éléments, ainsi que les liens présents dans la carte finale. Les élèves sont présentés par ordre décroissant du nombre total d'éléments (*i.e.* concepts, ressources et liens) de leur carte finale. Notre intention était d'étudier si ce type de visualisation pourrait aider les enseignants à positionner les élèves les uns par rapport aux autres.

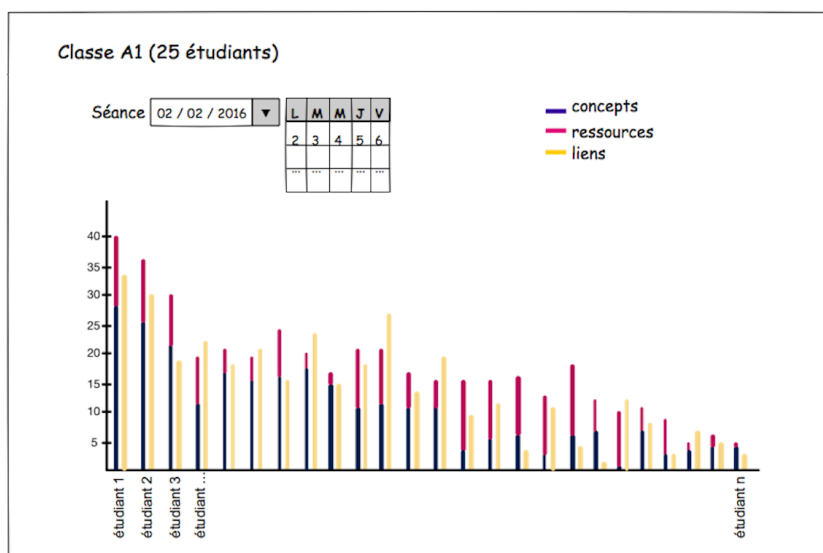


Figure 2 • Maquette d'indicateurs présentant l'ensemble de la classe avec des détails pour chaque élève : nombre de concepts, ressources et liens

Les enseignants se sont montrés intéressés par cette visualisation : « Cela permet de faire un classement par nature des tâches et leur ampleur », « Ça permet de voir le niveau de l'élève ». Certains ont même demandé à avoir des informations contextuelles de la classe sur une autre visualisation qui présentait seulement ses valeurs cumulatives : « Peut-être plus

intéressant de voir un élève par rapport aux autres. Ça permettrait de se rendre compte si un élève n'a rien fait ou vraiment beaucoup, cela par rapport à la norme collective ça aura plus de pertinence».

D'autres indicateurs sur la manipulation de la structure de la carte mentale (*i.e.* les nœuds et les liens) ont également été proposés en ajoutant des informations sur la temporalité des actions. De tels indicateurs sont en relation avec l'organisation des idées contenues dans la carte et permettent de suivre l'engagement cognitif des apprenants.

La figure 3 présente deux alternatives de visualisation proposées pour représenter la manipulation dans le temps de la structure d'une carte mentale par un élève (suivi de l'engagement cognitif). La visualisation contenant des *Small Multiples* (à gauche) offre une vue d'ensemble. Cependant, elle a suscité des questions parmi les enseignants, par rapport au choix des instants (t). Ils ont signalé la difficulté à les choisir et leur impact sur la perte ou la prise en compte d'informations du processus de construction des cartes. La visualisation dynamique pour rejouer la carte (à droite) a été jugée la plus pertinente.

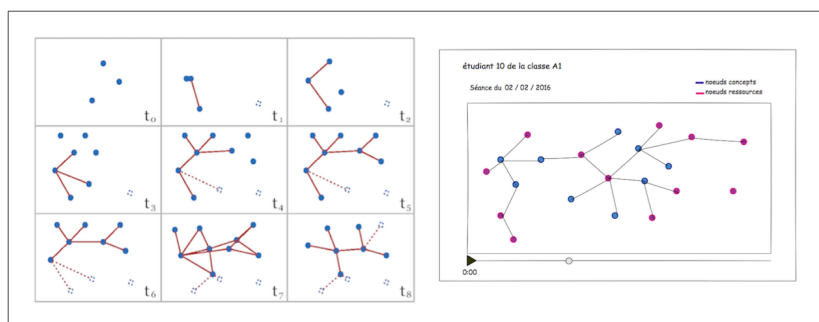


Figure 3 • Deux maquettes proposées pour visualiser l'évolution de la structuration de la carte mentale par l'élève dans le temps

Les premiers entretiens avec les enseignants sur les usages pédagogiques des cartes mentales et leurs avis sur les maquettes d'indicateurs proposés nous ont permis de cibler les informations intéressantes pour leurs tâches de suivi et d'évaluation de l'engagement. Les enseignants ont mentionné la difficulté à évaluer ce type d'activité, étant donné qu'il n'existe pas une solution unique de carte mentale face à un sujet demandé ; plusieurs propositions de cartes produites peuvent être jugées

également valides. Ils ont évoqué la notion de « norme collective » comme niveau de repère pour l'identification d'étudiants potentiellement en avance ou en difficulté. La discussion avec les enseignants autour des maquettes a également mis en évidence l'importance de disposer de plusieurs niveaux de représentation pour le suivi par les indicateurs : tout le groupe, avec le détail de chaque élève, et individuel pour un seul élève. Seuls des élèves présentant des caractéristiques particulières, repérées à partir de visualisations au niveau groupe, seraient examinés en détail par les enseignants via d'autres visualisations. D'autre part, le niveau de représentation de la classe a été considéré intéressant mais pas prioritaire.

Une proposition d'indicateurs, à partir des résultats des entretiens, a été mise à disposition sur un prototype de tableau de bord. La définition des indicateurs et l'implémentation du prototype sont décrites dans la section suivante.

4. Résultats – proposition

4.1. Définition d'indicateurs

Nous proposons au final de décrire l'activité d'un élève sur une carte mentale au moyen de cinq indicateurs. Leur définition et des exemples se trouvent dans le tableau 1.

Nous proposons d'enrichir cet ensemble d'indicateurs avec deux représentations des actions pour élaborer la carte mentale associée à leur temporalité. Ces représentations sont : 1) l'évolution, 2) le rejouage de la construction de la carte mentale. L'évolution de la construction de la carte affiche le nombre d'éléments (*i.e.* nœuds et liens) présents dans la carte depuis sa création, comme une courbe sur un plan à deux dimensions. L'axe horizontal correspond au temps, et l'axe vertical au nombre d'éléments. Cette représentation offre un aperçu rapide des tendances d'activité (p. ex. beaucoup d'éléments au début et puis une forte décroissance). Le rejouage de la construction de la carte prend la forme d'une vidéo des actions (*i.e.* création, suppression, modification et déplacement) réalisées sur les nœuds et liens de la carte mentale depuis sa création. Les actions sont ainsi présentées en conservant l'ordre chronologique de leur réalisation.

Les indicateurs proposés dans le tableau 1 nous permettent de comprendre différents aspects de la production d'une carte mentale. Les indicateurs « nombre d'actions », « nombre de nœuds », « clarté de la démarche », le nombre de « médias ou ressources associées » et la

représentation de l'évolution de la construction donnent des informations importantes sur le comportement de l'apprenant. Le « nombre de nœuds » permet d'estimer la complexité de la carte mentale et peut fournir des indices d'un comportement plutôt actif ou passif du créateur de la carte. Le nombre de « médias ou ressources associées » (ressources Web intégrées) peut donner des pistes sur l'engagement comportemental, en considérant que l'élève a entrepris des actions de recherche, puis d'association des ressources à des éléments de la carte.

**Tableau 1 • Indicateurs proposés pour le suivi
et l'évaluation de l'engagement**

Indicateur	Description	Exemple
Nombre d'actions	Nombre total d'actions réalisées sur les nœuds et liens en prenant en compte les actions de type création, suppression, modification et déplacement.	9 actions de création, 2 de suppression, et 1 de modification lors de l'élaboration de la carte, font un total de 12 actions correspondant à la valeur de l'indicateur.
Nombre de nœuds	Nombre total de nœuds de la carte mentale finale.	Si la carte finale contient 23 nœuds, telle sera la valeur de l'indicateur.
Clarté de la démarche	Ratio entre le nombre d'actions de suppression et le nombre d'actions de création de nœuds et de liens pendant la construction de la carte mentale.	Si l'élève réalise 12 actions de suppression sur les éléments de la carte, et 20 actions de création, la valeur de l'indicateur sera de $12/20 = 0.6$.
Liens par nœud	Moyenne des degrés calculés pour chacun des nœuds qui forment la carte mentale finale. Le degré d'un nœud correspond au nombre de liens sortant ou entrant.	Une carte avec 8 nœuds dont les degrés sont : 1, 1, 3, 3, 2, 2, 2, et 2, aura comme valeur de l'indicateur $(1 + 1 + 3 + 3 + 2 + 2 + 2 + 2) / 8 = 2$.
Médias ou ressources associées	Nombre et liste des ressources Web intégrées dans la carte mentale finale. Une ressource Web peut être associée à un élément de la carte (nœud ou lien) via son URL. Un élément de la carte peut être associé à une seule ressource Web, et donc à une seule URL.	La valeur de 4 pour cet indicateur indique qu'il y a 4 éléments de la carte (soient nœuds ou liens) avec une URL associée. En plus du nombre d'URLs associés, la liste de ces URLs cliquables pour aller aux sources Web.

D'autre part, les indicateurs « liens par nœud », la liste de « médias ou ressources associées », et le « rejouage de la carte mentale » mettent en avant des informations sur l'engagement cognitif de l'élève. Parmi ceux-ci, seul l'indicateur « liens par nœud » est un nombre ; il nous donne des indications sur la connectivité de la carte, par exemple si la carte constitue un tout connexe, ou plutôt un ensemble d'éléments isolés. Lorsque la carte est bien connectée, il est possible que ce soit parce que l'élève a fait des efforts pour établir des relations entre ses idées (représentées par les nœuds dans la carte). La possibilité d'accéder aux URLs des ressources Web intégrées via la liste de « médias ou ressources associées » peut permettre de juger la pertinence des ressources et de voir si l'élève était engagé cognitivement. Finalement, le « rejouage de la carte mentale » peut mettre en évidence des comportements récurrents (p. ex. création, puis suppression et recréation) qui donnent des indices sur une démarche par tâtonnement ou au contraire planifiée, ainsi que des possibles stratégies de construction mises en place (p. ex. création de liens au fur et à mesure de la création de nœuds, ou création de la plupart des nœuds puis leurs liens).

Pour aider à l'identification de valeurs d'indicateurs radicalement différentes du reste de la classe, nous les avons regroupées en trois groupes : valeurs proches de la moyenne, valeurs plutôt éloignées de la moyenne, et valeurs très éloignées de la moyenne. Pour chacun des indicateurs proposés nous avons converti les valeurs en z-scores (z) (Kreyszig, 2007) permettant de distinguer leurs écarts par rapport aux valeurs moyennes. Nous avons pu constituer nos trois groupes en séparant les (z) ainsi obtenus par seuils ($0 < |z| < 1$, $1 < |z| < 2$ et $2 < |z|$).

4.2. Architecture logicielle

La figure 4 présente le flux de données depuis la collecte des actions des élèves sur l'outil Renkan jusqu'à l'obtention de la visualisation des indicateurs proposés. Chacune des actions réalisées lors de l'utilisation de Renkan est enregistrée dans une base de stockage de traces, le *Learning Record Store (LRS) Learning Locker* (<https://learninglocker.net/>), selon le standard *xAPI* (<https://xapi.com/>) aussi nommé *TinCan API*, accessible ensuite depuis un service web. Les actions des apprenants stockées selon le standard *xAPI* contiennent les verbes *CREATE*, *UPDATE*, *DELETE*, *VIEW*, et *MOVE*. Toutes les données des élèves participants ont été anonymisées.

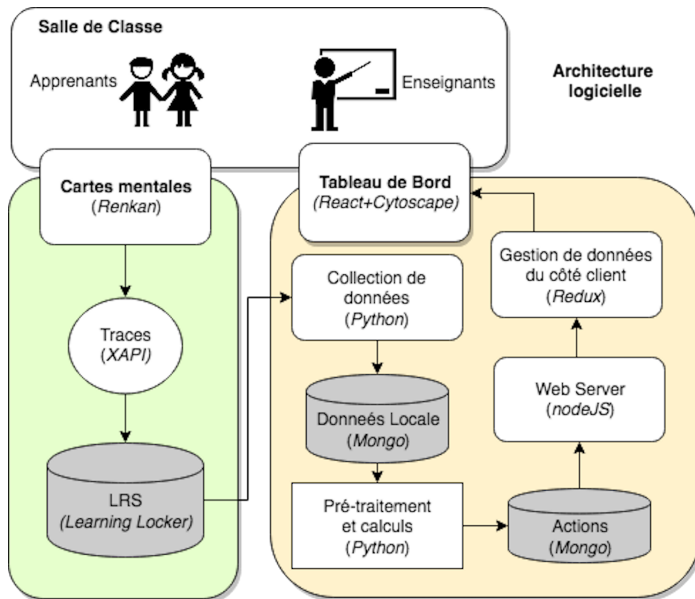


Figure 4 • Flux de données depuis la collecte de traces jusqu'à la visualisation des indicateurs sur le tableau de bord

L'extraction des traces collectées se fait depuis une autre machine grâce au logiciel *xapi-client* développé en *Python* pour ce projet. *xapi-client* permet d'une part d'obtenir les traces à intervalles réguliers et, d'autre part, d'effectuer un ensemble de prétraitements nécessaires pour la navigation temporelle dans les graphes créés par les élèves :

- extraction des informations depuis le format *xAPI*,
- reconstruction des états successifs des cartes de graphes depuis leur création,
- identification des différentes actions effectuées,
- stockage des données ainsi pré-traitées.

Une application Web client-serveur permet de produire le système de visualisation du tableau de bord lui-même. Le serveur utilisant *NodeJS* calcule les indicateurs d'après les données produites par *xapi-client*, avant de les servir via une API sous la forme de données *JSON*. Des listes des classes et des élèves par classe sont ainsi rendues disponibles, ainsi que l'ensemble des états des réseaux navigables depuis l'interface. Le standard *xAPI* nous a permis d'obtenir un format unifié et standardisé de données prêt pour le traitement des traces d'interaction apprenant.

4.3. Visualisation des indicateurs – tableau de bord

Nous avons retenu deux niveaux de représentation pour notre tableau de bord de bord : le premier est à l'échelle de la classe avec les détails de chaque élève, le second montre les données d'un seul élève.

<input type="checkbox"/>	Nom	Réseau	Nombre d'actions	Nombre de noeuds	Clarté de la démarche	Liens par noeud	Médias associés	Evolution
<input type="checkbox"/>	↑↓		↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir04		123	11	8.3	1		
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir11		235	14	20.6	0.9	1	
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir18		148	8	28.6	0.8		
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir19		140	6	23.1	0.5		
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir17		84	3	16.7	0.3		
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir37		193	5	62.5	0.6		
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir40		142	4	12.5	0.5	4	
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir43		176	6	14.3	1		
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir36		247	9	25	1	1	
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir52		184	8	13.3	0.5	2	
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir02		116	11		1		
<input type="checkbox"/>	Élève Renoir53		406	6	50	2	1	

**Figure 5 • Interface du tableau de bord (A) :
vue de l'ensemble de la classe**

Au centre du tableau de bord (figure 5) se trouve une liste des élèves contenant les différents indicateurs en colonnes. Chaque indicateur est présenté dans un cercle contenant au centre sa valeur et en fond une couleur bleue dont l'intensité correspond à son appartenance aux groupes de *z-score*. Le bleu plus clair montre les éléments proches de la moyenne, et l'intensité augmente en s'éloignant de la moyenne. L'usage de ces couleurs doit permettre aux enseignants d'identifier rapidement les apprenants ayant des comportements très différents des autres. Les filtres permettent de trier les colonnes par ordre croissant ou décroissant.

En cliquant sur l'icône en forme d'œil sur la deuxième colonne du tableau, l'utilisateur peut accéder à un volet contenant les détails de chaque carte (figure 6).

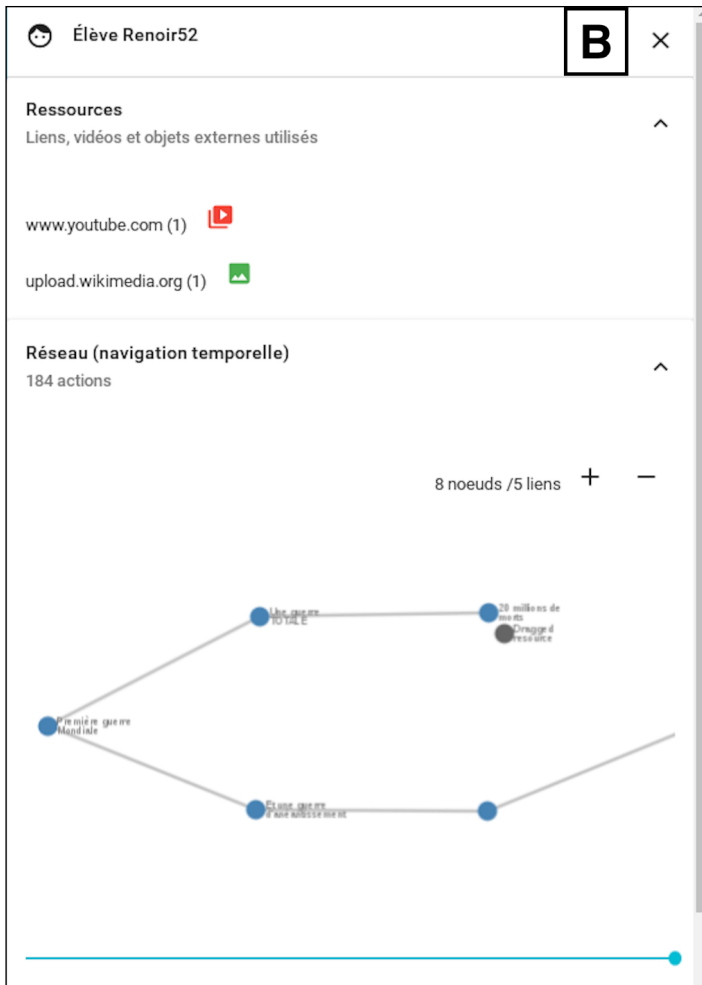


Figure 6 • Interface du tableau de bord (B) : vue d'un élève

La partie supérieure de ce volet contient l'ensemble des ressources Web ajoutées par l'apprenant. On peut accéder directement à chaque ressource en cliquant sur son URL. La partie inférieure permet de rejouer le processus de construction, grâce à une navigation temporelle dans une version simplifiée de la carte en glissant le bouton (*slider*) sur la ligne

temporelle horizontale de rejeuage. Les informations telles que les valeurs du nombre de nœuds et du nombre de liens sur la représentation simplifiée de la carte mentale changent en fonction de la position du bouton de navigation temporelle.

5. Évaluation du tableau de bord

Nous avons réalisé une série d'entretiens semi-dirigés avec des enseignants afin d'évaluer le tableau de bord proposé. L'évaluation a été réalisée sur deux aspects : l'utilisabilité de l'interface du tableau de bord et l'utilité des informations mises à disposition sous la forme d'indicateurs. Cette section présente la description de la méthode suivie ainsi que nos premiers résultats.

5.1. Méthode

5.1.1. Participants

Nous avons conduit les entretiens avec trois enseignants, dont deux ayant participé aux entretiens préliminaires (cf. 3.1) et exerçant au niveau lycée. Le troisième enseignant utilise fréquemment des cartes mentales construites sur ordinateur dans ses activités pédagogiques, et exerce au niveau universitaire. Le fait d'inclure ces deux profils d'enseignants dans cette étude d'évaluation permet d'identifier des usages potentiels sur différents terrains.

5.1.2. Matériel

Nous avons construit une grille d'entretien constituée de 21 questions (cf. Annexe) à partir de nos critères d'évaluation : utilisabilité du tableau de bord et utilité des indicateurs. La grille prévoyait des colonnes pour la prise de notes.

Un logiciel de capture vidéo de l'écran et un logiciel d'enregistrement de la voix ont été utilisés pour garder l'intégralité des discussions. Un service de partage d'écran a été également utilisé, permettant de voir les actions réalisées par l'enseignant sur le tableau de bord.

5.1.3. Procédure

Les entretiens ont été réalisés par téléphone, pendant environ une heure. Les logiciels d'enregistrement étaient disponibles depuis le lancement de l'appel.

Nous avons commencé par demander aux enseignants de répondre à un ensemble de questions pour évaluer l'utilisabilité de l'interface, puis

**Rubiela CARRILLO, Yannick PRIÉ,
Leslie GUILLAUME, Élise LAVOUÉ**

nous avons posé des questions concernant l'utilité des informations proposées sous la forme d'indicateurs. Ensuite, nous avons posé des questions générales sur le design de l'interface et, pour finir, nous avons invité les participants à nous transmettre toute remarque ou commentaire sur l'entretien ou l'étude.

Pour l'aspect utilisabilité, les enseignants devaient manipuler et réaliser des tâches simples sur l'interface pour trouver les réponses (p. ex. dire combien d'élèves ont associé plus d'un média dans leur carte, identifier les élèves qui n'ont jamais supprimé de nœuds ou de liens lors de la construction de leur carte, ou bien ceux qui en ont beaucoup supprimés). Ensuite, ils devaient identifier les indicateurs les plus difficiles à comprendre et les raisons des incompréhensions. Pour l'aspect utilité, les enseignants devaient répondre à d'autres questions afin d'identifier les modifications qu'ils jugeaient nécessaires sur chacun des indicateurs pour envisager de s'en servir dans un tableau de bord (p. ex. informations jugées accessoires, informations attendues mais manquantes). Les enseignants ont répondu également à des questions concernant la lisibilité et l'organisation des informations sur l'interface pour nous faire un retour sur le design du tableau de bord. Les questions posées étaient ouvertes et permettaient aux interviewés de s'exprimer à tout moment pour préciser ou enrichir leurs réponses. Pour conclure, les enseignants ont ajouté des commentaires à leur guise sur des points spécifiques, ou sur des aspects généraux tels que l'usage du tableau de bord.

5.2. Résultats

Avec cette première évaluation, nous avons pu confronter notre proposition de tableau de bord et identifier certaines pistes d'amélioration.

5.2.1. Utilisabilité du tableau de bord

Les moyens d'interaction proposés sur le tableau d'indicateurs de la fenêtre principale ont permis d'explorer facilement les informations disponibles (p. ex. ordonner les élèves par identifiant ou par indicateur, voir les cartes mentales simplifiées).

La fenêtre principale du tableau de bord qui présente les indicateurs des élèves dans le contexte de la classe présente majoritairement des données sous la forme de nombres (*i.e.* « nombre d'actions », « nombre de nœuds », « clarté de la démarche », « liens par nœud », et le nombre de « médias ou ressources associées ») (cf. 4.1). Lors des entretiens d'évaluation,

les enseignants ont eu du mal à se faire une idée de la construction de la carte à partir de ces nombres et ont exprimé la difficulté de s'y limiter : « *les indicateurs chiffrés dépendent de la carte, c'est très difficile d'utiliser que des indicateurs chiffrés, il faut regarder le réseau qui a été créé* ». Nous retenons donc l'importance de combiner les indicateurs quantitatifs avec un autre type de représentation pour faire ressortir des aspects qualitatifs qui sont plus faciles à utiliser par les enseignants.

Les indicateurs qui sont obtenus à partir de comptages se sont avérés intuitifs pour effectuer des comparaisons. Par contre, les indicateurs représentant des ratios ont été plus difficiles à interpréter. L'indicateur « clarté de la démarche » a été jugé ambigu, sa légende suggérant déjà une interprétation : « *clarté de la démarche [...] il y a déjà un début d'évaluation en construction, et d'évaluation de comment le contenu est mis en forme. Sauf que l'on ne sait pas, nous, ce qui est pris en compte pour calculer cette clarté de la démarche [...]* ». Des suggestions de légende, telles que « Rapport entre nombre de suppressions et de créations » et « Pourcentage de suppressions », ont été proposées par les enseignants. Toutefois cet indicateur n'a finalement pas été jugé très pertinent.

Le choix de couleurs mettant en évidence les groupes formés à partir des *z-scores* doit être retravaillé car les enseignants ont eu du mal à les identifier et à les interpréter. Parfois les couleurs les plus foncées ont été comprises comme celles du groupe ayant « le mieux réussi », et parfois cette interprétation a été associée aux couleurs les plus claires.

D'autre part, l'intérêt de présenter deux niveaux d'informations (individu et groupe avec le détail de chaque élève) a été confirmé. L'organisation spatiale de l'information dans le tableau de bord n'a pas suscité de remarques importantes. Les enseignants ont néanmoins précisé le besoin de pouvoir accéder à l'état final de la carte depuis le tableau de bord, via une image ou même un lien afin de comparer le processus de construction avec le résultat final obtenu. Ils ont également exprimé le besoin de tutoriels explicatifs concernant à la fois la prise en main du tableau de bord et les calculs des indicateurs.

5.2.2. Utilité des indicateurs

Nous présentons dans cette partie les retours obtenus sur l'utilité des indicateurs du tableau de bord.

Les enseignants ont jugé plus utile de présenter le nombre d'actions sur les nœuds et sur les liens séparément qu'ensemble. Ils ont précisé par

exemple, que le travail de création de nœuds et de liens n'a pas le même objectif ni ne demande le même effort cognitif : « ... *je pense pas qu'on puisse mélanger les nœuds et les liens en fait. [...] Quand ils [les élèves] commencent ils vont créer un ou deux nœuds avec un titre, après pour eux la difficulté c'est pas de trouver, c'est pas [de] créer le nœud en fait qui est dur, c'est de construire les liens, c'est là où ils ont plus de mal.* »

Certains enseignants ont exprimé le besoin de compléter le nombre de nœuds par des informations sur le contenu de nœuds : « *Ici il n'y a que de la quantité et l'enseignant s'intéresse qu'à la qualité* ». Des informations telles que les noms des nœuds sont demandées, car elles pourraient être utiles pour juger la compréhension des élèves.

Les enseignants ont eu du mal à se servir de l'indicateur de clarté de la démarche, car celui-ci peut prendre en compte des suppressions intentionnelles des élèves qui ne sont pas forcément des indices d'un manque de clarté de la construction. Ils ont même trouvé naturel qu'un élève ajuste sa carte en supprimant et en recréant des éléments pour améliorer sa présentation : « ... *ils peuvent supprimer un nœud tout simplement parce qu'ils l'ont pas fait comme ils voulaient et donc ils veulent le refaire pour que la forme corresponde à ce qu'ils veulent. C'est pas sûr que ce soit, comment dire, hyper significatif* ». Un exemple d'usage vécu avec des élèves a été donné pour expliquer la non utilité de cet indicateur : « *Il y en a plein [des élèves] par exemple qui voyaient pas qu'il y avait un rapport entre [...] le service militaire, l'armée et les droits politiques donc il y en a plein qui ne faisaient pas de flèche (de lien) [...]. Donc c'est plus intéressant de compter dans la production finale le nombre de liens plutôt que de voir le ratio entre ce qui crée et ce qui supprime. Parce que les élèves ils aiment bien que ce soit joli, donc ils vont beaucoup s'attacher à la forme en fait, avec des couleurs, faire des formes originales* ».

Certains ont considéré l'indicateur de liens par nœud utile et d'autres ont hésité à l'évaluer à cause de difficultés pour le comprendre. Par exemple, un enseignant a été surpris de voir que deux cartes avec le même nombre de nœuds et le même nombre de liens pouvaient avoir des valeurs différentes pour l'indicateur. L'enseignant pensait que le calcul de l'indicateur « liens par nœud » était un simple ratio (voir le calcul et un exemple sur le tableau 1). Nous pensons qu'il faut retravailler cet indicateur pour le rendre plus intuitif.

L'indicateur représentant les médias ou ressources associées a été jugé utile par les enseignants. La possibilité d'accéder à la source via l'URL a été

bien appréciée pour permettre une évaluation du contenu de la carte : « *Permettre d'aller vers la source c'est une valeur ajoutée!* ».

L'intention de présenter l'activité de l'élève (*i.e.* le nombre d'actions sur les éléments de la carte) pendant toute la durée de construction de la carte à la manière d'une évolution a été appréciée. Malheureusement les informations manquantes sur les axes du graphe l'ont rendu inutile. Ce type d'indicateur et sa représentation en fonction de la ligne du temps seront retenus afin de mettre en évidence l'aspect dynamique de la construction de la carte mentale.

Les enseignants ont trouvé majoritairement que le rejouage de la construction de la carte mentale était une représentation utile et intéressante. Cela permet de voir « *dans quel ordre les choses se sont construites, car ce n'est pas forcément linéaire* » et de « *rejouer le cheminement* ». Un enseignant a même exprimé qu'il serait utile de mettre à disposition des élèves cette visualisation : « *pour les élèves, ce serait intéressant de voir comment ils ont fait pour susciter leur réflexion* ».

5.2.3. Bilan des retours

En résumé, la plupart des indicateurs ont été considérés utiles pour le suivi de l'engagement des élèves dans la construction de la carte finale. Cependant, plusieurs indicateurs peuvent être améliorés, car ils manquent d'informations importantes (*i.e.* ajout des intitulés des nœuds dans « nombre de nœuds », ajout des noms des axes dans le graphe « évolution »), ou devraient être présentés différemment (*i.e.* séparation d'actions sur nœuds et liens dans « nombre d'actions »), ou encore nécessitent d'être plus explicites pour faciliter leur compréhension (*i.e.* « liens par nœud »). L'indicateur « clarté de la démarche » devrait être supprimé et/ou remplacé car jugé non utile. D'autre part, l'indicateur « médias ou ressources associées » et le « rejouage de la carte mentale » sont à conserver dans une nouvelle version du tableau de bord, car ils ont été jugés utiles. Au-delà de l'aide à l'identification des élèves en difficulté (objectif premier des indicateurs), un enseignant a suggéré que le tableau de bord puisse être utilisé pour l'évaluation des cartes mentales des élèves.

6. Conclusion et perspectives

Nos travaux visent à construire des outils permettant le suivi de l'engagement des apprenants durant la construction de cartes mentales lors d'activités pédagogiques en classe. Nous nous sommes intéressés aux dimensions cognitives et comportementales de l'engagement afin de

**Rubiela CARRILLO, Yannick PRIÉ,
Leslie GUILLAUME, Élise LAVOUÉ**

réaliser un tableau de bord pour les enseignants. L'étape préliminaire de conception du tableau de bord s'est déroulée lors d'ateliers qui nous ont permis de collecter des informations sur l'usage pédagogique des cartes mentales et sur leur évaluation par les enseignants. Nous avons ensuite proposé différentes maquettes de visualisation pour comprendre les problèmes soulevés par la représentation des cartes. Nous avons alors défini différents indicateurs construits à partir des traces collectées lors de l'usage en classe. Nous avons également réalisé une première version du tableau de bord enseignant, lequel présente les indicateurs pour chaque élève, et permet notamment de rejouer la construction de chaque carte étape par étape. Les entretiens d'évaluation auprès des enseignants nous ont permis d'identifier les aspects positifs de la première proposition du tableau de bord, et ceux qui devront être améliorés pour une nouvelle version.

Notre travail en cours est lié à la conception et à la réalisation de la seconde version de notre prototype, qui devrait inclure de nouveaux indicateurs à partir d'une étude plus approfondie des théories sur l'engagement dans les dimensions comportementale et cognitive, et à partir des résultats de la première évaluation de notre prototype. Les nouveaux indicateurs devront être liés à la qualité de la carte mentale à deux niveaux de représentation : une vue générale de la classe, afin de favoriser l'identification d'élèves en difficulté, et une vue individuelle de l'élève fournissant des informations plus détaillées. Il est à noter que les actuelles représentations des indicateurs de la vue générale de la classe devront être enrichies par d'autres plus qualitatives, afin de faciliter le travail des enseignants. Des indicateurs tels que les ressources Web intégrées dans une carte (avec l'accès à leur source) et la représentation de la vidéo qui permet le rejouage de la construction seront repris et améliorés. Le manque de temps des enseignants pour l'analyse des indicateurs est un aspect déterminant pour le suivi des apprenants. La nouvelle version du tableau de bord devra permettre d'identifier en temps réel les élèves en difficulté, ainsi que d'analyser *a posteriori* plus en détail les processus de construction pour des élèves particuliers. La possibilité de suivre les actions des élèves en temps réel permettrait de réaliser des interventions aux moments pertinents de la construction. Les analyses *a posteriori* seraient envisagées pour des cas particuliers repérées lors du suivi en temps réel.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche est réalisé dans le cadre du projet MétaÉducation qui est financé par le programme « Investissements d’Avenir » du gouvernement français. Nous remercions particulièrement les enseignants et les élèves qui ont participé à nos études de terrain.

RÉFÉRENCES

Anderson, A., Huttenlocher, D., Kleinberg, J. et Leskovec, J. (2014). Engaging with Massive Online Courses. Dans *Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web* (p. 687-698). New York, NY : ACM.
<https://doi.org/10.1145/2566486.2568042>

Arnold, K. E. et Pistilli, M. D. (2012). Course signals at Purdue: Using learning analytics to increase student success. Dans *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics And Knowledge* (p. 267-270). New York, NY : ACM.
<https://doi.org/10.1145/2330601.2330666>

Buzan, B., Buzan, T. et Bouvier, M. (2012). *Mind map, dessine-moi l’intelligence*. Paris, France : Eyrolles.

Cañas, A. J., Novak, J. D., Miller, N. L., Collado, C., Rodríguez, M., Concepción, M., ... Peña, L. (2006). Confiabilidad de una taxonomía topológica para mapas conceptuales. Dans *Proceedings of the 2nd International Conference on Concept Mapping*. <http://cmc.ihmc.us/cmc2006Papers/cmc2006-p233.pdf>

Cañas, A. J., Bunch, L., Novak, J. D. et Reiska, P. (2013). Cmapanalysis: an extensible concept map analysis tool. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 4(1), 36-46. Récupéré de :
<http://jett.labosfor.com/index.php/jett/article/viewFile/46/45>

Clow, D. (2014). Data wranglers: Human interpreters to help close the feedback loop. Dans *Proceedings of the Fourth International Conference on Learning Analytics And Knowledge* (p. 49-53). New York, NY : ACM.
<https://doi.org/10.1145/2567574.2567603>

Coffrin, C., Corrin, L., de Barba, P. et Kennedy, G. (2014). Visualizing patterns of student engagement and performance in MOOCs. Dans *Proceedings of the Fourth International Conference on Learning Analytics And Knowledge (LAK’14)* (p. 83-92). New York, NY : ACM. <https://doi.org/10.1145/2567574.2567586>

Davies, M. (2011). Concept mapping, mind mapping and argument mapping: what are the differences and do they matter? *Higher Education*, 62(3), 279-301.
<https://doi.org/10.1007/s10734-010-9387-6>

Desmarais, M. C. et Lemieux, F. (2013). Clustering and visualizing study state sequences. Dans *Proceedings of the 6th Conference on Educational Data Mining (EDM 2013)* (p. 224-227).

Eppler, M. J. (2006). A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for

**Rubiela CARRILLO, Yannick PRIÉ,
Leslie GUILLAUME, Élise LAVOUÉ**

knowledge construction and sharing. *Information Visualization*, 5(3), 202-210. Récupéré de : <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1057/palgrave.ivs.9500131>

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. <https://doi.org/10.3102/00346543074001059>

Govaerts, S., Verbert, K., Duval, E. et Pardo, A. (2012). The student activity meter for awareness and self-reflection. Dans *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (p. 869-884). New York, NY : ACM. <https://doi.org/10.1145/2212776.2212860>

Kreyszig, E. (2007). *Advanced engineering mathematics*. John Wiley & Sons.

Leony, D., Pardo, A., de la Fuente Valentin, L., de Castro, D. S. et Kloos, C. D. (2012). GLASS: A learning analytics visualization tool. Dans *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge* (p. 162-163). New York, NY : ACM. <https://doi.org/10.1145/2330601.2330642>

Linnenbrink, E. A. et Pintrich, P. R. (2003). The role of self-efficacy beliefs instudent engagement and learning inthe classroom. *Reading & Writing Quarterly*, 19(2), 119-137. <https://doi.org/10.1080/10573560308223>

Loboda, T. D., Guerra, J., Hosseini, R. et Brusilovsky, P. (2014). Mastery grids: An open-source social educational progress visualization. Dans *Proceedings of the 2014 Conference on Innovation & Technology in Computer Science Education* (p. 357-357). New York, NY : ACM. <https://doi.org/10.1145/2591708.2609840>

McClure, J. R. et Bell, P. E. (1990). *Effects of an Environmental Education-Related STS Approach Instruction on Cognitive Structures of Preservice Science Teachers* (rapport, Pennsylvania State University). <https://eric.ed.gov/?id=ED341582>

Miller, N. L. et Cañas, A. J. (2008). A semantic scoring rubric for concept maps: design and reliability. Dans *Proceedings of the Third International Conference on Concept Mapping, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland*. <http://cmc.ihmc.us/cmc2008papers/cmc2008-p253.pdf>

Molinari, G., Poellhuber, B., Heutte, J., Lavoué, E., Widmer, D. S. et Caron, P.-A. (2016). L'engagement et la persistance dans les dispositifs de formation en ligne : regards croisés. *Distances et médiations des savoirs*, 13. <https://doi.org/10.4000/dms.1332>

Novak, J. D. et Cañas, A. J. (2007). Theoretical origins of concept maps, how to construct them, and uses in education. *Reflecting Education*, 3(1), 29-42. Récupéré de : <http://www.reflectingeducation.net/index.php/reflecting/article/view/41>

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W. et Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational Psychologist*, 37(2), 91-105. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702_4

Pintrich, P. R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31(6), 459-470. [https://doi.org/10.1016/S0883-0355\(99\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0883-0355(99)00015-4)

Santos, J. L., Govaerts, S., Verbert, K. et Duval, E. (2012). Goal-oriented visualizations of activity tracking: A case study with engineering students. Dans *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics And Knowledge* (p. 143-152). New York, NY : ACM. <https://doi.org/10.1145/2330601.2330639>

Yousuf, B. et Conlan, O. (2015). VisEN: Motivating learner engagement through explorable visual narratives. Dans G. Conole, T. Klobučar, C. Rensing, J. Konert et E. Lavoué (dir.), *Design for Teaching and Learning in a Networked World* (LCNS, vol. 9307, p. 367-380). Cham, Suisse : Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-24258-3_27

Zeidner, M. (2007). Chapter 10 - Test anxiety in educational contexts: Concepts, findings, and future directions. Dans P. A. Schutz et R. Pekrun (dir.), *Emotion in Education* (p. 165-184). Burlington, MA : Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-012372545-5/50011-3>

ANNEXE

Grille d'entretien pour évaluer l'utilisabilité et l'utilité du prototype de tableau de bord

Utilisabilité de l'interface du tableau de bord proposé	
1	Quelle version du tableau de bord êtes-vous en train d'utiliser ? (Rta : 0.07)
2	Après ordonner les élèves par identifiant, Pourriez-vous dire le nombre d'actions réalisées par le 3ème élève de la liste ? (Rta : 93)
3	Les indicateurs sont affichés sur des cercles à 3 couleurs représentant 3 groupes. Les groupes ont été définis à partir de la proximité des valeurs des indicateurs par rapport à la norme collective. Pourriez-vous identifier les élèves "hors la norme" ou avec des valeurs extrêmes pour l'indicateur "Nombre de nœuds" à partir des couleurs des cercles ? (Rta : Élève Renoir27 et Élève Renoir11)
4	Combien d'élèves n'ont jamais supprimé un élément (nœud ou lien) de la carte mentale qu'ils ont construite ? (Rta : 8 élèves : ceux qui n'ont pas de valeurs de l'indicateur "Clarté de la démarche" car le numérateur du ratio est toujours "zéro")
5	Combien d'élèves ont associé seulement deux ressources externes dans la carte mentale ? (Rta : seulement 1 élève - Élève Renoir52)
6	Combien d'élèves ont construit une carte dont la moyenne de liaisons de ses nœuds a été de 2 liens ? (Rta : 1 élève : Élève Renoir53)
7	Seriez-vous en capacité de décrire à quoi correspond chacun des indicateurs après regarder le tableau de bord ?
8	Quels sont les indicateurs les plus difficiles à comprendre ? Pourquoi ?
9	Quelles modifications feriez-vous au niveau des légendes sur l'interface ?
10	Quelles informations regarderiez-vous principalement pour faire de comparaisons entre vos élèves ? Quoi voudriez-vous comparer ?

Explorant l'interface, pourriez-vous me dire sur l'élève « Élève Renoir19 » :	
11	La durée pour construire sa carte mentale ? (Rta : début : 13:24, fin : 13:52)
12	Combien de nœuds et combien de liens sont présents dans la carte finale ? (Rta : 6 nœuds et 4 liens)
13	Combien de nœuds n'ont pas été liés au graphe de la carte par aucun lien ? (Rta : 1 seul nœud)
Explorant la carte de l'élève « Elève Renoir40 », pourriez-vous me dire :	
14	Le nombre d'actions qu'il a réalisées pour construire sa carte ? (Rta : 142 actions)
15	Les sites Web qu'il a consultés pour construire sa carte ? (Rta : upload.wikimedia.org, i.huffpost.com, www.francetvinfo.fr, et img.overblog.com)
Utilité des indicateurs proposés	
16	Trouvez-vous utiles les indicateurs proposés dans le tableau de bord ? Quels indicateurs changeriez-vous ? pourquoi ?
17	Quelles informations attendiez-vous voir sur le tableau de bord et vous ont manqué ?
Questions générales et débriefing	
De façon générale comment trouvez-vous l'interface du tableau de bord ?	
18	en termes de lisibilité des informations affichées ?
19	en termes de l'organisation des informations présentées ?
20	en termes de la compréhension des indicateurs présentés ?
21	Voulez-vous ajouter d'autres commentaires par rapport à l'interface ou à l'entretien qu'on vient de réaliser ?



Le choix d'un MOOC, un processus influencé par l'organisation des cours en catalogues ?

► **Matthieu CISEL** (Laboratoire EDA, Université Paris-Descartes)

■ **RÉSUMÉ** • Dans cet article, nous analysons les données d'inscription issues de la plateforme FUN afin d'interpréter les comportements observés au sein des cours qu'elle héberge. Pour étayer nos propos, nous mobilisons, d'une part, une enquête au prisme de la notion de clé d'entrée issue de la littérature sur le e-commerce et, d'autre part, un million d'inscriptions réalisées sur FUN. Selon notre interprétation des données, il existe une forte représentation d'inscriptions issues de visites expérientielles, qui correspondent à un mode de navigation où l'utilisateur parcourt un catalogue sans nécessairement avoir une idée précise du type de MOOC qu'il souhaite suivre. Ces analyses montrent que les comportements observés au sein d'une formation en ligne incluse dans un catalogue peuvent être influencés par les caractéristiques de celui-ci.

■ **MOTS-CLÉS** • CLOM, usages, analyse de traces

■ **ABSTRACT** • *In this paper, we analyze registration data from the French MOOC platform France Université Numérique to interpret behaviors observed in individual courses, based on notions drawn from the webmarketing literature, such as the type of visit. Our interpretations are based on both surveys sent in a dozen of courses, and on the quantitative study of more than a million registrations from FUN. We explore various dimensions of users' behavior. We show that learners discover the courses they register to mostly by navigating on the platform catalog, a particular case called the experiential visit. Our results show that behaviors observed in an online course included in a catalogue can be influenced by the characteristics of the said catalogue.*

■ **KEYWORDS** • MOOC, uses, learning analytics

1. Introduction

Entre 2012 et 2016, des centaines d'établissements d'enseignement supérieur investissent à travers le monde dans la conception de MOOC ou Massive Open Online Courses (Cisel et Bruillard, 2013 ; Daniel, 2012). Parmi les nombreux débats qui virent le jour durant cette période, l'un d'entre eux prit une place considérable, celui des faibles taux de certification des MOOC (Cisel, 2015). Les taux de certification des formations à distance traditionnelles¹ sont en effet plus bas que ceux de leurs pendants en présentiel (Zawacki-Richter et Anderson, 2014). Cette tendance est plus nette encore pour les MOOC. Sur les célèbres plateformes américaines *Coursera* et *edX*, seuls 5 à 10 % des inscrits obtiendraient le certificat (Chuang et Ho, 2016). La propension des utilisateurs à s'inscrire à plus de cours qu'ils ne peuvent en suivre, conséquence de la gratuité selon Koller (2013), constitue l'une des explications avancées de manière récurrente.

Cette considération nous a amené à nous poser une succession de questions auxquelles nous avons cherché à répondre sur la base d'enquêtes et des données d'inscription de la plateforme française *France Université Numérique (FUN)*. Nous qualifions de « données d'inscription » l'ensemble des données permettant de qualifier les inscriptions réalisées au sein d'une même plateforme : date de l'inscription, obtention de l'éventuel certificat suite à cette inscription, etc. La première série de questions porte sur les modalités de découverte du cours et leur influence sur le comportement d'inscription. Comment les utilisateurs de MOOC prennent-ils connaissance des cours auxquels ils s'inscrivent ? Quelle est leur propension à s'inscrire à de multiples MOOC, et à s'investir de manière simultanée au sein de plusieurs de ces cours ? Comment la modalité de découverte d'un cours influe-t-elle sur le nombre de cours au sein desquels un utilisateur s'investit ?

La deuxième série de questions porte davantage sur le comportement d'inscription au sein de *FUN* et fait écho aux propos de Koller (2013). Quel est le lien entre nombre d'inscriptions réalisées dans une plateforme donnée et investissement dans les MOOC correspondant, l'investissement étant mesuré sur la base de l'obtention des certificats ? Dans quelle mesure les comportements d'inscription peuvent-ils nous donner des indices

¹ Par « traditionnelles », nous entendons des formations à distance payantes et intégrées dans un diplôme ou une certification reconnue sur le marché du travail.

quant à la manière dont l'apprenant a pris connaissance du MOOC ? Enfin, comment les fluctuations des caractéristiques du catalogue d'une plateforme peuvent-elles influencer sur la manière dont les utilisateurs s'investissent dans chaque cours pris de manière individuelle ?

Ce travail est réalisé sous l'angle du « comportement d'inscription », terme qui désigne tout comportement observable dont la description se base sur des données d'inscription : nombre d'inscriptions réalisées sur la plateforme, rythme des inscriptions, etc. Sur le plan notionnel, nous avons cherché à qualifier et à quantifier les trajectoires qui conduisent à l'inscription au prisme des notions de clé d'entrée et de visite, toutes deux issues de la littérature sur les processus de sélection de produits en ligne (Isaac et Volle, 2008 ; Stenger et Bourliataux-Lajoie, 2014).

Nous reprendrons la typologie de visites qu'ils proposent, en distinguant notamment visites exploratoires, expérientielles et expéditives ; nous reviendrons sur leur définition. Les données d'inscription vont nous amener à proposer l'hypothèse selon laquelle il existe une forte représentation d'inscriptions issues de visites expérientielles, qui correspondent à un mode de navigation où l'utilisateur parcourt un catalogue sans nécessairement avoir, en amont, une idée précise du type de MOOC qu'il souhaite suivre. Cette hypothèse découle notamment d'une forte représentation dans le jeu de données de ce que nous appellerons les inscriptions groupées, qui correspondent au fait que les participants réalisent des séries d'inscription dans un intervalle de temps réduit, généralement inférieur à une heure.

Si l'on s'attache à une définition stricte de la notion de visite expérientielle, il faudrait des données supplémentaires pour pouvoir identifier à quel type de visite correspond une inscription en particulier : données de navigation précédant l'inscription, données déclaratives sur les intentions des participants au cours de ce processus de choix du cours. Il est en pratique presque impossible d'obtenir toutes ces données, et à plus forte raison de les croiser par le biais d'identifiants uniques. Nous ne proposons pas ici une équivalence entre visite expérientielle et inscription groupée, d'autant que des stratégies mixtes peuvent exister : la première inscription d'une série d'inscriptions groupées peut être issue d'une visite exploratoire tandis que les suivantes peuvent être issues d'une visite expérientielle. Notre hypothèse postule simplement l'existence d'une corrélation entre un type d'inscription et un type de visite.

En conclusion de cet article, nous proposerons une nouvelle hypothèse à la suite des différentes analyses que nous aurons présentées tout au long de l'article : les caractéristiques des catalogues de cours en ligne (comme le nombre et la nature des cours proposés), payants ou non, influent de manière importante sur les comportements observables au sein des cours qu'ils hébergent. Il peut dès lors être intéressant de se pencher sur ces catalogues si l'on veut prendre pleinement la mesure des dynamiques observées au sein de dispositifs individuels, mais aussi sur les évolutions successives d'un dispositif au fil du temps. Dans cette contribution, nous écartons la question des apprentissages réalisés par les utilisateurs, pour nous focaliser sur celle de leur engagement au sein des dispositifs.

2. Des travaux sur les MOOC aux recherches sur l'attrition en formation

2.1. Des comportements d'inscription peu étudiés

La rareté des études portant sur le comportement d'inscription s'explique sans doute par le caractère stratégique des données d'inscription, de sorte que les premiers travaux sur la question ne sont pas l'œuvre de chercheurs, mais des plateformes elles-mêmes. Ainsi la fondatrice de *Coursera* mobilise ces données avant tout pour minimiser la portée des faibles taux de certification des MOOC (Koller, 2013), c'est-à-dire pour répondre à la critique récurrente selon laquelle la faible rétention des apprenants signifie que les MOOC « ne marchent pas ». Bien que les quelques chiffres avancés par Koller suggèrent que le comportement d'inscription constitue l'une des clés de la compréhension des taux de certification, les statistiques fournies sont maigres. Elles portent sur des millions d'individus et des centaines de cours, mais elles manquent de précision : tout au plus sait-on que les utilisateurs sont inscrits à environ quatre cours en moyenne.

À notre connaissance, le lien entre comportement d'inscription et taux de certification n'a été étudié que dans un nombre limité de publications (Albo, Hernández-Leo et Oliver, 2016 ; Anderson, Huttenlocher, Kleinberg et Leskovec, 2014 ; Banerjee et Duflo, 2014 ; Perna *et al.*, 2016), et le plus souvent sous l'angle du délai entre la date d'inscription et la date de lancement du cours. Plusieurs de ces auteurs cherchent à identifier quelles sont les inscriptions qui sont les plus susceptibles de déboucher sur un investissement des participants. Ils montrent que celles qui sont réalisées plusieurs mois en avance ont nettement moins de chances

d'aboutir à l'obtention du certificat que celles qui sont réalisées dans les jours qui précèdent ou suivent le lancement du cours.

Quant au problème de l'inscription à de multiples cours - par là nous entendons le fait d'avoir réalisé plus d'une inscription sur une plateforme donnée - elle reste largement sous-investie. Si certains rapports (Chuang et Ho, 2016 ; Université d'Edimbourg, 2013) évoquent la question, ils se cantonnent aux MOOC d'un nombre réduit d'établissements, sans que l'analyse ne prenne en compte l'ensemble des cours hébergés par la plateforme attenante. On ne peut ainsi voir qu'une partie réduite du comportement d'inscription. Au-delà de ce problème, les analyses ne se réclament pas d'une quelconque problématique. Il s'agit tantôt de fournir des statistiques descriptives - nombre de participants inscrits à un, deux, trois cours de l'établissement, tantôt de décrire les trajectoires des participants d'une discipline à l'autre, des cours d'informatique aux cours de littérature par exemple.

À notre connaissance, l'analyse des données de *MiriadaX* (Albo *et al.*, 2016) constitue l'une des seules recherches publiées dans la littérature scientifique portant sur les comportements d'inscription à l'échelle de l'ensemble du catalogue de cours d'une plateforme. L'étude porte sur près de 200.000 participants répartis dans 144 cours. Néanmoins, les auteurs se cantonnent à établir des corrélations entre le nombre d'inscriptions par cours et des variables sociodémographiques comme le niveau d'études ou le pays de résidence. Ils cherchent à montrer qu'il n'y a pas de différence majeure dans le comportement d'inscription entre différents pays hispanophones. Nous apprenons par exemple que les argentins s'inscrivent approximativement à autant de cours que les espagnols. S'ils se basent sur les données d'inscription, les auteurs ne cherchent pas à établir de lien entre comportement d'inscription et taux de certification.

2.2. Les travaux sur l'attrition en formation

Avant de présenter les notions que nous avons mobilisées dans cet article, nous proposons une brève revue des travaux sur l'attrition en formation, qui ont largement inspiré les analyses présentées ici, et sur les taux de certification dans les MOOC. Les MOOC constituant un cas particulier de formation à distance, l'attrition que l'on y observe est parfois analysée au prisme des travaux sur l'attrition en formation à distance (Cisel, 2016). Ces travaux prennent leur origine dans les recherches sur l'attrition, ou son contrepoint, la rétention, observée dans les universités nord-américaines (Tinto, 2006). L'attrition est alors considérée au sein

d'une institution donnée et correspond à la part des étudiants inscrits qui n'obtiennent pas le diplôme correspondant (Tinto, 1975). Une vaste littérature s'est développée sur le sujet à partir des années 1970. Deux décennies de recherches sur l'attrition avaient permis d'en distinguer plusieurs formes, c'est-à-dire plusieurs causes immédiates d'une interruption des études : retrait volontaire lorsque l'interruption de la formation correspond à une décision positive et échec académique lorsque cette décision est subie, notamment du fait de mauvaises notes (Vaughan, 1968). Cette première typologie est complétée par des éléments comme le *retour*, ou le *transfert* (Hackman et Dysinger, 1970), pour prendre en compte le fait que les étudiants peuvent se réinscrire à l'établissement initial ou s'inscrire dans un autre établissement.

Si ces quelques notions ont une valeur descriptive certaine, elles montrent leurs limites dès lors que l'on s'intéresse aux mécanismes qui ont conduit au retrait volontaire ou à l'échec académique. C'est dans ce contexte qu'est apparu le modèle de rétention de Tinto (1975), qui constitue le point de départ d'une série de travaux dans ce domaine (Munro, 1981 ; Tinto, 1982, 1987). Il prend notamment en compte l'intégration sociale des étudiants, c'est-à-dire les relations qu'ils établissent avec leurs pairs, mais aussi l'intégration académique, qui se focalise, elle, sur les relations avec le corps enseignant et le rapport aux disciplines étudiées. Ce type de modèle connaît de multiples transformations afin de l'adapter aux caractéristiques de la formation à distance (Bean et Metzner, 1985 ; Boshier, 1973 ; Garrison, 1985 ; Kember, 1989 ; Kemp, 2002 ; Sweet, 1986). Ces modèles visent à prendre en compte le fait que l'on étudie bien souvent des cours isolés dont les caractéristiques particulières pèsent de manière considérable dans la décision d'interrompre la formation. Par ailleurs, le public est souvent constitué d'apprenants adultes engagés dans la vie professionnelle.

Une grande partie des travaux réalisés sur l'attrition dans les MOOC se base, explicitement ou implicitement, sur des méthodes ou des concepts qui ont été développés dans cette dernière littérature (Barak, Watted et Haick, 2016 ; Breslow, Pritchard, DeBoer, Stump, Ho et Seaton, 2013 ; Gillani et Eynon, 2014 ; Greene, Oswald et Pomerantz, 2015 ; Kizilcec et Schneider, 2015 ; Rosé *et al.*, 2014). Les auteurs reprennent ainsi souvent des données issues de questionnaires (motivations sous-jacentes à l'inscription, intentions, études passées) qu'ils croisent avec les données relatives à l'attrition. Qu'ils soient focalisés sur les universités, la formation à distance ou les MOOC, ces travaux ont en commun le fait de se

concentrer sur ce qui se passe une fois l'inscription réalisée. Or c'est à ce qui se passe en amont de l'inscription que nous nous intéressons dans le cadre de cet article.

Une remarque faite par Tinto (1975) s'est révélée inspirante à cet égard. L'auteur souligne l'importance de raisonner à l'échelle d'un système éducatif dans son ensemble et non à l'échelle d'un cours ou d'une université. C'est à la suite de cette injonction que nous avons cherché à aborder la question des utilisations des MOOC en raisonnant à l'échelle d'une plateforme. L'analogie a ses limites (après tout, un cours en ligne n'est pas une université, pas plus qu'une plateforme de cours ne représente un système éducatif), mais nous empruntons volontiers à Tinto l'idée selon laquelle on ne saurait appréhender pleinement les dynamiques d'un dispositif qui s'insère dans un réseau d'autres dispositifs, sans se pencher sur les dynamiques qui animent ce réseau.

Dans le cas d'un MOOC, cela signifie chercher à appréhender comment les participants parcourent les catalogues, passent éventuellement d'un cours à l'autre (comme on peut se désinscrire d'une unité d'enseignement pour s'inscrire à une autre, dans une université) et quelles sont les trajectoires qui ont conduit à l'inscription au cours. En d'autres termes, nous nous penchons également sur le parcours de navigation entre les pages Web, qui a précédé l'inscription au MOOC. Ce changement de perspective impose un renouvellement des cadres conceptuels guidant les analyses, ce qui nous a amené à nous pencher sur des notions issues de la littérature consacrée au processus de sélection de produits en ligne.

3. Des notions pour appréhender les modalités de sélection d'un produit sur Internet

3.1. La notion de clé d'entrée

Les notions que nous mobilisons dans cette contribution ont été développées afin de mieux comprendre les comportements d'achat sur Internet, et plus particulièrement les modalités de sélection de toutes sortes de produits, payants ou non, au sein de catalogues. À cet égard, nous nous situons, avec les MOOC organisés en catalogues, dans le domaine de validité de ces notions. Le fait de considérer un cours en ligne comme un produit comme un autre peut questionner le chercheur ou le praticien. Certes, nous avons réalisé ce travail sur des cours gratuits, aux certificats gratuits – nous avons analysé des processus de sélection de produits et non des processus d'achat à proprement parler. Mais cette logique de la

gratuité des MOOC a régressé partout dans le monde au cours de ces dernières années (Cisel, 2016), et la question de l'achat n'a plus grand-chose de métaphorique, au moins outre-Atlantique.

Plusieurs notions ont été mobilisées au cours de cette recherche, notamment « la clé d'entrée ». Elle désigne le processus qui a conduit à la sélection d'un produit, ce qui correspond dans notre cas à l'inscription au cours. Deux modalités y sont associées, la « clé d'entrée plateforme » d'une part, et la « clé d'entrée produit » d'autre part : « Soit l'internaute se rend sur un site avec une vague idée des produits qu'il souhaite acheter, soit il souhaite acheter un ou plusieurs produits sans avoir nécessairement une idée très précise des sites marchands où il peut les acheter. Dans le premier cas, la clé d'entrée est le site marchand à visiter, alors que dans le deuxième cas, la clé d'entrée est le produit à acheter » (Isaac et Volle, 2008).

Les auteurs font l'analogie entre la « clef d'entrée plateforme » et le « lèche-écran ». Un exemple de « clef d'entrée plateforme » est représenté par le système de recommandation d'*Amazon*, qui, sur la base des données récoltées sur des comportements antérieurs, pousse les utilisateurs connectés à sélectionner des produits dont ils ignoraient l'existence. Les auteurs croisent ces deux notions avec le degré de connaissance des plateformes et des produits. Soit l'internaute connaît bien l'offre (les sites, les catégories de produits), soit il la connaît peu. Le croisement de ces deux niveaux avec la clé d'entrée génère quatre types de visites que nous allons définir par la suite : expérientielle et expéditive pour la clef d'entrée plateforme, exploratoire et comparative pour la clef d'entrée produit.

3.2. Quatre types de visites

Dans le cas de la « visite expérientielle », « les motivations de visite sont plutôt hédonistes (découvrir une offre originale, se faire surprendre, se promener dans un vaste assortiment, comme une caverne d'Ali Baba, etc.). Les visites régulières sur PriceMinister ou sur eBay rentrent dans cette catégorie d'achat expérientiel » (Isaac et Volle, 2008, p. 213). Ce cas correspond notamment aux participants qui, après avoir découvert une plateforme y reviennent régulièrement pour vérifier si de nouveaux cours sont susceptibles de les intéresser, sans avoir une idée précise de la thématique sur laquelle ils désirent se former.

Dans le cas de la « visite expéditive », « l'internaute se rend sur un site pour réaliser un achat assez précis. Soit il connaît l'offre de ce site pour ce produit (il a vu une offre sur une publicité ou un ami lui en a parlé, par

exemple); soit il sait [...] que ce site est le meilleur pour telle catégorie de produit. [...] À la différence du précédent, ce processus de décision est guidé par un objectif précis: les motivations de visite sont plutôt utilitaires » (Isaac et Volle, 2008). Cela correspond dans notre cas aux personnes qui vont s’inscrire à un MOOC après en avoir entendu parler sur Internet, mais hors de la plateforme, ou après y avoir été incitées par un tiers. Ils ne se connectent à la plateforme que pour s’inscrire à un cours précis identifié auparavant.

Dans le cas de la « visite exploratoire », « l’internaute souhaite réaliser un achat dans une catégorie précise, mais ne connaît pas les sites à visiter. Il choisira probablement de surfer sur des sites connus dans le commerce physique, ou bien de saisir le nom de la catégorie de produits sur un moteur de recherche ou sur un comparateur » (Isaac et Volle, 2008). Dans ce cas, le participant sait de manière relativement précise dans quel domaine il souhaite se former. En revanche, il ne sait pas nécessairement quel site utiliser, ni même quel format d’apprentissage adopter (MOOC, tutoriels, etc.). Une schématisation de deux types de visite (exploratoire et expérimentielle) conduisant à une inscription est présentée en figure 1.

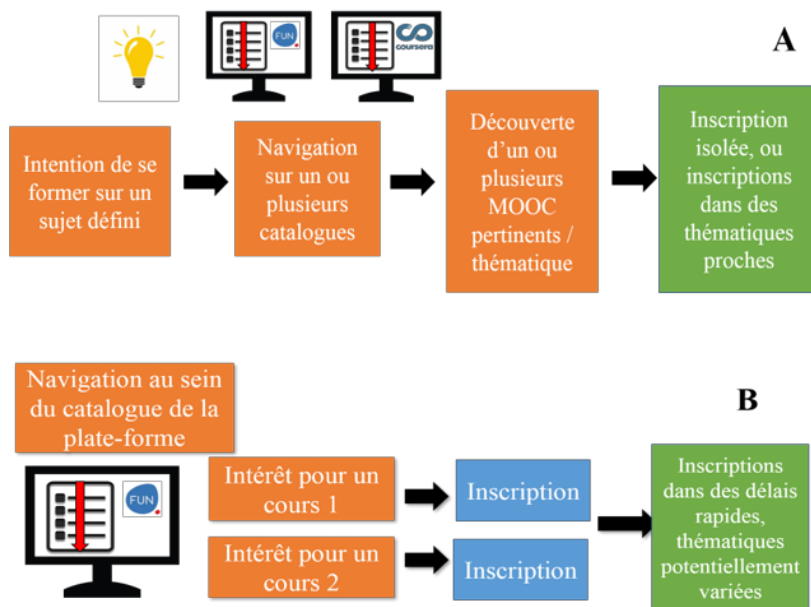


Figure 1 • Schématisation de 2 types de visite menant à une inscription : exploratoire (A), expérimentielle (B)

Enfin, dans le cas de la « visite comparative ou évaluative », « l'internaute souhaite réaliser un achat précis et connaît les sites qui commercialisent la catégorie de produits recherchée. [...] L'internaute va donc comparer les différents sites qui font partie de son ensemble de considération. Ce processus de décision est guidé par un objectif précis » (Isaac et Volle, 2008). Pour satisfaire à la définition de la visite comparative, il faudrait que l'utilisateur cherche à se former sur un sujet précis via un MOOC et compare les pages de présentation de ces différents cours portant sur une thématique similaire. Par ailleurs, il faudrait que la comparaison entre ces différents cours puisse déboucher sur la possibilité de s'inscrire à au moins une des formations. Cela impliquerait qu'elles soient organisées sur des périodes similaires.

Pour que l'on puisse parler de visite comparative, nous avons considéré que la similitude entre les cours devait être très élevée. Les cours doivent être dans la même langue, gratuits, avec une date de début et une date de fin séparées de quelques semaines. L'analyse de la structure de l'écosystème MOOC au moment de la réalisation de cet article (Cisel, 2016) montre clairement que FUN constitue l'acteur majoritaire des MOOC francophones et que, dès lors, c'est au sein même de son catalogue que des visites comparatives sont le plus susceptibles d'avoir lieu. Or sur FUN, le nombre de cours ouverts aux inscriptions sur une période donnée est généralement inférieur à une vingtaine (Cisel et Leh, 2017), et les thématiques de ces formations divergent suffisamment pour que l'on puisse exclure la visite comparative. Le caractère délimité dans le temps des MOOC fait qu'il y a en pratique, à un moment donné, peu de compétition entre cours portant sur les mêmes thématiques (Cisel, 2016). Dès lors, nous avons fait le choix d'écarter les visites comparatives de cette étude, pour nous concentrer sur les visites expérientielles, exploratoires et expéditives.

4. Méthodologie

4.1. Une enquête diffusée dans une douzaine de cours

L'enquête a été réalisée à l'automne 2015 auprès de douze MOOC organisés sur FUN et d'un MOOC organisé sur Canvas.net. Elle se base sur la collecte de données recueillies via des questionnaires diffusés par nos soins, ou par des partenaires au sein de leur formation. Elle a permis de

collecter 8545 réponses². Les questionnaires ont été élaborés sur la base des notions que nous venons de présenter et de données obtenues par le biais de quarante entretiens semi-directifs réalisés dans une précédente étude. L'analyse de ces entretiens nous a permis d'orienter la formulation des questions en légitimant la pertinence des catégories de visites issues de la littérature - voir (Cisel, 2016) pour une présentation de ces entretiens. Nous qualifierons de « répondant » toute personne ayant répondu à un questionnaire.

Une partie des questions de l'enquête, notamment celles relatives aux catégories socioprofessionnelles des participants, est issue des nomenclatures de l'INSEE. L'inscription à de multiples cours et le suivi simultané de différents cours est également traitée dans ce questionnaire. Ces questions s'inspirent partiellement d'une traduction du questionnaire diffusé par la plateforme américaine *Coursera*. La mise au point des questions relatives aux comportements d'inscription a fait suite à l'analyse des entretiens (Cisel, 2016) et à celle des notions de clé d'entrée (cf. section 2.1). La formulation exacte des questions sera présentée dans la partie consacrée aux résultats.

En ce qui concerne le type de visite, nous avons cherché à identifier deux paramètres : le média à travers lequel le participant a entendu parler du cours pour la première fois, que ce média soit une plateforme d'hébergement, un mail, un article de blog ou tout simplement une autre personne, et le processus qui a conduit à l'inscription. Nous avons notamment cherché à déterminer dans quelle mesure l'intention de se former à la thématique du cours précédait ou non la découverte du MOOC sur la plateforme. Dans le reste de l'enquête, nous posons des questions relatives à l'inscription à d'autres plates-formes de MOOC. En effet, un certain nombre de participants sont inscrits en plus de FUN à d'autres plates-formes de cours comme *Coursera* ou *edX*, et en nous cantonnant à la seule plateforme française, accessibilité des données oblige, nous ne voyons qu'une partie du comportement des utilisateurs vis-à-vis des MOOC et d'autres types de formations auxquelles ils peuvent être inscrits. L'analyse de l'enquête quantitative permet d'apprécier partiellement l'importance de ce biais.

² Le détail de ces cours, ainsi que le nombre de réponses obtenues par cours est disponible dans (Cisel, 2016)

Nous avons utilisé *Google Form* au cours de cette enquête, cet outil permettant de réaliser des questions « à tiroir », c'est-à-dire que certaines réponses appellent des questions spécifiques. Il présente l'avantage de pouvoir être intégré directement au sein du cours par la procédure dite de *l'embed*, cette intégration augmentant considérablement les taux de réponse, par rapport à une stratégie qui consisterait à diffuser un lien vers un outil extérieur à la plateforme, comme *Limesurvey*. Tous les questionnaires étaient diffusés au cours de la première semaine de la formation, sans que nous ne puissions maîtriser le jour de la semaine où la diffusion aurait lieu, ce choix étant à la discrétion des équipes pédagogiques partenaires. Dans la mesure où il y a souvent une chute de l'engagement des participants au cours de la première semaine du MOOC (Cisel, 2016), le choix du jour peut affecter légèrement le nombre de réponses obtenues. Néanmoins, rien ne laisse à penser que la répartition des différentes réponses puisse être affectée par la décision des équipes.

L'approche par enquête présente l'avantage d'autoriser l'accès à des éléments du comportement des participants qui ne laissent pas de traces d'interaction, et d'articuler aisément notions mobilisées et collecte de données. Elle souffre néanmoins du biais d'auto-sélection inhérent à toute enquête en ligne ; aussi avons-nous cherché à compléter cette approche par l'analyse d'un jeu de données volumineux dont l'accès nous a été permis grâce à une collaboration étroite avec FUN.

4.2. Données d'inscription de la plateforme FUN

Les données d'inscription de FUN ont été extraites par l'équipe technique de la plateforme au 20/09/2015, et portent dès lors sur deux années d'inscriptions ; elles concernent 168 cours. Ces données comportent pour chaque inscription une date, l'identifiant du cours, l'identifiant anonymisé de l'utilisateur et l'obtention éventuelle du certificat associé au cours. Rappelons que l'inscription aux cours est gratuite et que pendant la période que couvre l'analyse, l'obtention des certificats sur FUN, qui prennent généralement le nom d'attestations de réussite, est elle-même entièrement gratuite.

Le corpus comprend au total 1.047.445 inscriptions. On constate que 308.396 d'entre elles correspondent à des cours qui n'ont pas commencé ou qui ne sont pas terminés au moment de l'extraction des données. Elles ont donc été exclues de toute réflexion sur les taux de certification, le corpus étant réduit à 119 cours.

À partir des données d'inscription brutes, nous avons bâti un certain nombre d'indicateurs visant à décrire chaque inscription. Nous qualifierons une inscription de « certifiante » dès lors qu'elle débouche sur l'obtention d'un certificat, et de « non certifiante » dans le cas contraire. Par ailleurs, nous parlerons de « certifiés » pour désigner les utilisateurs obtenant au moins un certificat sur la plateforme *FUN* et de « non-certifiés » pour désigner les autres utilisateurs.

- Nous parlerons « d'inscriptions multiples » pour désigner les inscriptions de participants qui se sont inscrits à plusieurs MOOC sur la plateforme hébergeant le cours, et « d'inscription unique » si le participant ne s'est inscrit qu'à un seul cours sur la plateforme, sur la période que couvre l'analyse.

- Une inscription sera dite « groupée » dès lors qu'une autre inscription aura été réalisée par le même utilisateur dans la même journée, et « isolée » dans le cas contraire. On dira d'une inscription qu'elle correspond à un « retour » si elle a lieu dans un cours où l'utilisateur s'était déjà inscrit.

La logique qui sous-tend le traitement de ces données diffère sensiblement de celle de l'enquête présentée auparavant, dans la mesure où les analyses menées, si elles sont inspirées de notions comme la clé d'entrée, relèvent d'une approche plus inductive. Nous sommes conscients du fait que le comportement d'inscription n'est que partiellement caractérisé par les données de *FUN*. Dès lors, dans la discussion (section 6), nous présenterons un certain nombre d'arguments pour justifier en quoi les indicateurs que nous avons mobilisés peuvent être révélateurs des modalités de découverte des cours.

5. Résultats

Nous présenterons en premier lieu les résultats de l'enquête, en croisant différentes variables comme la modalité de découverte du cours et le nombre de MOOC suivis, puis nous reviendrons sur l'analyse des données d'inscription, en fournissant un certain nombre de statistiques descriptives sur des indicateurs d'intérêt.

5.1. L'analyse des types de visite basée sur les enquêtes

Par les enquêtes diffusées principalement sur *FUN*, nous avons analysé la manière dont les participants avaient entendu parler du cours pour la première fois et, d'autre part, si la volonté de se former à la thématique

correspondant au cours préexistait à sa découverte. La combinaison de ces deux éléments suffit à qualifier de manière relativement précise la nature d'une visite ou, en d'autres termes, la modalité de découverte du cours. Dans un second temps, nous nous sommes penché sur le nombre d'inscriptions réalisées sur la plateforme et au nombre de cours suivis en parallèle. Par la suite, nous avons cherché à établir le lien entre modalité de découverte du MOOC et nombre de MOOC suivis en parallèle. Ces cours sont généralement suivis sur la même plateforme - 80 % du temps, les inscriptions multiples sont réalisées sur *FUN* (Cisel, 2016), mais peuvent être aussi suivis sur d'autres plateformes, comme *Coursera* ou *edX*. Néanmoins, cette considération n'affecte pas outre mesure la nature de notre propos.

Concernant la question portant sur la nature de la visite, formulée en ces termes : « *Parmi les affirmations suivantes, quelle est celle qui correspond le plus à votre situation ?* », nous proposons quatre modalités de réponse :

1. C'est en naviguant sur la plateforme que j'ai découvert ce MOOC et que j'ai décidé de m'inscrire, mais je n'avais pas l'intention de me former à cette thématique avant de découvrir cette formation ;
2. J'ai entendu parler de ce MOOC hors de la plateforme (bouche-à-oreille, article, etc.) et j'ai décidé de m'inscrire de ma propre initiative, mais je n'avais pas l'intention de me former à cette thématique avant d'entendre parler de cette formation ;
3. On m'a contraint à m'inscrire, ou fortement incité ;
4. J'avais l'intention de me former à la thématique de ce MOOC avant de le découvrir, et c'est en faisant des recherches que je l'ai découvert et que je m'y suis inscrit.

La première réponse correspond à une visite expérientielle, dans la mesure où le participant découvre le cours pour la première fois via la plateforme et n'a pas en amont de la visite une idée précise du produit qui l'intéresse. Les réponses 2 et 3 correspondent à une visite expéditive. La seule différence entre ces deux cas de figure réside dans le fait que dans un cas, le cours n'est pas prescrit, tandis qu'il l'est dans l'autre cas. En termes de visite, le résultat est le même, puisqu'il se passe *a priori* peu de temps entre la connexion à la plateforme et l'inscription au cours. La dernière réponse correspond à une visite exploratoire.

Nous labélisons respectivement ces différentes réponses par le type de visite correspondant : expérientiel, expéditif non prescrit, expéditif prescrit, et exploratoire. Les pourcentages suivants portent sur l'ensemble

des cours de l'étude³ : 54 % (± 15) (N = 8545) des répondants considérés n'avaient pas l'intention de se former à la thématique du cours avant de le découvrir. Parmi les réponses, 38 % (± 13) correspondent à une visite expérientielle, 16 % (± 6) à une visite expéditive non prescrite, 7 % (± 11) à une visite expéditive prescrite et 33 % (± 10) à une visite exploratoire. Enfin, 6 % (± 2) estiment être dans une autre situation.

Au sein des enquêtes, la visite expérientielle est la plus représentée des visites et la clé d'entrée plateforme en général - qui combine visites expérientielle et expéditive - semble l'emporter sur la clé d'entrée produit. Les biais d'auto-sélection limitent néanmoins la représentativité de ces réponses, d'autant que les enquêtes ont été diffusées principalement sur la plateforme FUN, sans qu'il soit aisé de déterminer de quelle manière.

Etudions maintenant le lien entre modalité de découverte du cours et nombre d'inscriptions réalisées dans d'autres MOOC. Pour ce faire, nous avons utilisé les deux questions suivantes :

- « *Combien de MOOC avez-vous commencé jusqu'à présent en dehors de ce MOOC-ci ? Par « commencer », nous entendons avoir consacré au moins une heure au MOOC* » ;
- « *Combien de MOOC êtes-vous en train de suivre en ce moment en plus de celui-ci ? Par « suivre », nous entendons vous investir au moins une heure par semaine sur le MOOC* ».

La plupart des répondants s'étaient déjà inscrits à un autre MOOC, et la majorité - 63 % - suivait au moins un autre cours en parallèle⁴ (tableau 1).

Nous avons ensuite croisé la variable que représente la modalité de découverte du cours avec le nombre de MOOC suivis en parallèle. Après avoir regroupé les différents types de visites expéditives dans une même catégorie, on constate que les participants dont la visite est expéditive sont ceux qui suivent le moins de cours en simultané (figure 2), la différence avec les autres formes de visites étant statistiquement significative ($\chi^2 = 535$, ddl = 10, p-value < 10^{-4}). Seuls 27 % des répondants issus

3 Les chiffres introduits par le symbole \pm correspondent à des écarts-types, représentant la variabilité entre les différents cours

4 Les apprenants qui répondent aux questionnaires font certes partie des plus investis et ne sont pas représentatifs de l'ensemble des utilisateurs de MOOC. Néanmoins, les données d'inscription fournies par la plateforme FUN vont montrer que l'inscription à de multiples cours constitue le cas majoritaire.

d'une visite expérientielle à ne suivre aucun autre cours en simultané. Cette proportion monte à 68 % pour les participants issus d'une visite expéditive. Le cas de la visite exploratoire est intermédiaire, avec 41 % des participants qui en sont issus qui ne suivent aucun autre MOOC. Il existe une corrélation entre le nombre de MOOC suivis en simultané, ainsi que le nombre de MOOC auxquels le participant s'est inscrit, et le type de visite associé à l'inscription.

Tableau 1 • Nombre d'inscriptions réalisées à d'autres MOOC et nombre de MOOC concomitants avec le cours où est diffusée l'enquête. N = 8545

	Commencé		En cours	
	Moy.	Ecart-type	Moy.	Ecart-type
Aucun	27 %	18 %	37 %	16 %
Un	20 %	5 %	26 %	5 %
Deux	14 %	4 %	17 %	8 %
Trois	11 %	4 %	9 %	3 %
Quatre	8 %	3 %	5 %	2 %
> Quatre	20 %	5 %	5 %	3 %

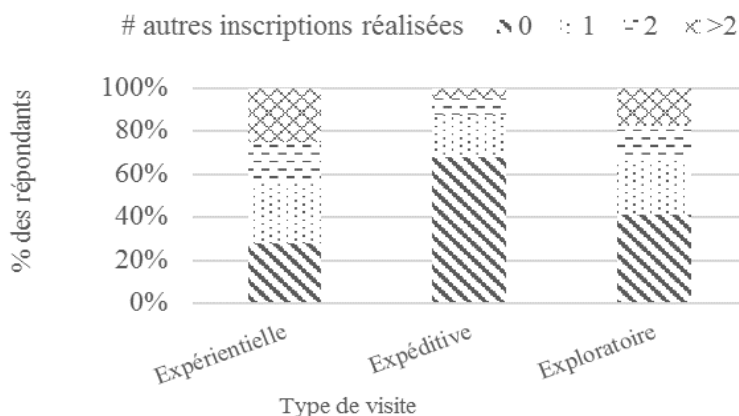


Figure 2 • Croisement entre type de visites ayant conduit à l'inscription et nombre de MOOC suivis en parallèle par le participant, sur la base de l'enquête. N = 7850

Cet élément constitue à nos yeux un indice concordant en faveur de l'hypothèse selon laquelle l'inscription à de multiples cours est plus représentée dans le cas des visites expérientielles. Les données d'inscription de la plateforme FUN vont nous permettre de préciser notre propos en nous permettant de quantifier l'importance des inscriptions groupées.

5.2. Une analyse des données d'inscription de FUN

L'analyse des données de FUN peut être décomposée en trois temps. Dans un premier temps, nous analysons la propension des utilisateurs à s'inscrire à de multiples cours au sein de la plateforme, ainsi qu'au rythme auquel sont réalisées ces inscriptions. Notre interprétation de ces données est que les inscriptions sont, dans une large mesure, issues de visites expérientielles. Dans une deuxième partie, nous nous fondons sur cette interprétation pour montrer que les comportements observés au sein de cours individuels sont influencés par le contexte dans lequel s'inscrit un cours, et en particulier des caractéristiques du catalogue auquel il appartient. Nous verrons que des caractéristiques des inscriptions, déterminantes pour l'engagement dans le cours, peuvent fluctuer au fil du temps, du fait de dynamiques propres aux plates-formes d'hébergement et à leur catalogue. Dans une troisième partie, nous nous pencherons sur la question du retour, c'est-à-dire sur le fait qu'un utilisateur se réinscrit parfois à la deuxième ou à la troisième itération d'un cours après s'être inscrit à une version antérieure de la formation, ce qui peut modifier sensiblement les utilisations qui sont faites du cours.

5.2.1. Inscriptions groupées et taux de certification

L'analyse des données d'inscriptions montre que 51 % des utilisateurs de FUN ne s'inscrivent qu'à un seul cours à l'échelle de la plateforme, ils représentent 20,2 % des inscriptions ; 79,8 % des inscriptions sont donc le fait d'utilisateurs s'inscrivant à plusieurs cours et correspondent dès lors à ce que nous avons défini comme des inscriptions multiples. À l'échelle de FUN, les utilisateurs s'inscrivent à 2,7 cours en moyenne. L'inscription à de nombreux cours constitue un phénomène central au sein de la plateforme : 29,3 % des inscriptions sont réalisées par des participants ayant réalisé dix inscriptions ou plus et, parmi celles-ci, 7,3 % sont le fait de participants qui ont réalisé trente inscriptions ou davantage. Les utilisateurs qui ont obtenu au moins un certificat sur la plateforme, *i.e.* les certifiés, représentent 11,3 % des utilisateurs. Ils s'inscrivent généralement à plus de cours que ne le font les non-certifiés. En effet, ces derniers sont

inscrits à 2,3 cours en moyenne, tandis que les certifiés sont inscrits à 4,5 cours en moyenne.

Sur les 669.423 inscriptions multiples étudiées, 46 % sont groupées, c'est-à-dire qu'une autre inscription a été réalisée dans une même journée. Le reste des inscriptions est isolé. Pour 18 % des inscriptions multiples étudiées, entre un jour et un mois sépare deux inscriptions consécutives et dans 33 % des cas, cet écart est compris entre un mois et un an. Ces résultats suggèrent que près de la moitié des inscriptions de FUN sont le fait d'utilisateurs qui s'inscrivent la même journée à plusieurs cours d'affilée. De plus, 73 % de ces inscriptions groupées sont réalisées le premier jour de l'inscription sur la plateforme.

Enfin, les inscriptions isolées sont celles dont les taux de certification sont les plus élevés - 12,5 % en moyenne, 19 % pour les inscriptions isolées réalisées lors de la première inscription à un cours de la plateforme, tandis que les taux de certification des inscriptions groupées avoisinent 5 %. Une régression logistique publiée précédemment (Cisel, 2017) confirme le lien statistique entre non-obtention du certificat et caractère groupé de l'inscription. Nous interprétons ce résultat comme découlant du fait que les visites expérientielles, où l'inscription est moins synonyme d'investissement, sont surreprésentées parmi les inscriptions groupées.

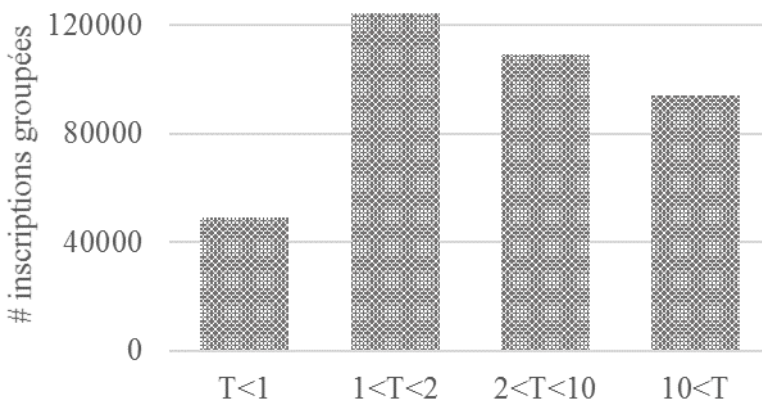


Figure 3 • Pour les inscriptions groupées, répartition des écarts temporels (T) en minutes, séparant l'inscription réalisée de l'inscription précédente. N = 376541

Le deuxième élément qui, selon nous, vient étayer le fait que les inscriptions groupées découlent de visites expérientielles réside dans le faible écart temporel qui les sépare. Pour la plupart des inscriptions groupées réalisées dans la même journée, celui-ci se compte en minutes. Nous avons analysé pour 376.541 inscriptions groupées ne correspondant pas à une première inscription l'écart temporel qui les séparait de l'inscription précédente (figure 3).

Cet écart est inférieur à une minute dans 13 % des cas ; il est compris entre une et deux minutes dans 33 % des cas, entre deux et dix minutes dans 29 % des cas, et supérieur à dix minutes dans seulement 25 % des cas. On conçoit difficilement que des visites exploratoires, qui nécessitent par définition de réaliser un certain nombre de recherches sur Internet, ou même des visites expéditives, puissent déboucher, en un temps aussi court, sur diverses inscriptions au sein de la plateforme. Pour aller plus loin, il serait nécessaire de disposer des traces de la navigation éventuelle sur la plateforme qui a pu précéder les visites ayant conduit à l'inscription (Clow, 2013); elles nous permettraient de préciser la manière dont l'offre a été explorée et dont les décisions ont été prises.

L'analyse des données montre que les inscriptions groupées, et de manière plus générale les inscriptions multiples, correspondent à des cours qui sont organisés sur des périodes similaires, ce qui peut faire décroître encore la probabilité qu'ils débouchent sur l'obtention du certificat. Nous constatons que, dans près de 12 % des cas, les cours consécutifs, pour un individu donné, commencent le même jour ; dans 40 % des cas, le délai entre deux cours consécutifs d'un utilisateur est compris entre une journée et deux semaines, et ce délai n'est supérieur à deux mois que dans 21 % des cas. Ceci est à mettre en relation avec le fait que les cours durent en moyenne six semaines sur FUN (Cisel, 2016); lorsque le délai entre deux cours est inférieur à six semaines, il y a de fortes chances que ceux-ci se superposent.

Ainsi, pour les inscriptions multiples, le taux de certification est de 7,4 % lorsque deux cours sont lancés le même jour, pour les deux cours considérés ; le taux monte à 14,1 % pour le premier cours lorsque le délai le séparant du suivant est supérieur à deux mois. En d'autres termes, plus les dates de lancement sont rapprochées les unes des autres, plus faible est la probabilité de terminer chacun de ces cours pris individuellement. La régression logistique (Cisel, 2017) confirme que ces différences sont statistiquement très significatives. Il est fort probable que les participants

s'inscrivent sans avoir les moyens temporels de suivre simultanément autant de cours qui se superposent. Ce choix est-il délibéré ou non ? Cette question sera traitée dans la discussion.

Il existe donc un lien fort entre le fait de faire des inscriptions groupées et le fait de ne pas obtenir le certificat. Nous allons voir que la proportion des inscriptions groupées au sein des inscriptions d'un MOOC varie considérablement d'un cours à l'autre, et au fil des mois, pour des raisons qui sont indépendantes des caractéristiques du cours.

5.2.2. Une fluctuation temporelle du nombre d'inscriptions groupées

Pour 25 des 119 cours analysés, la proportion d'inscriptions groupées est inférieure à 20 % ; pour 11 autres d'entre eux, elle est supérieure à 40 %. Compte tenu des faibles taux de certification associés à ces inscriptions, cette proportion d'inscriptions groupées affecte le taux de certification moyen d'un cours, comme nous l'avons vu dans les régressions logistiques. Or la proportion des inscriptions groupées réalisées à un instant donné fluctue au fil du temps (figure 4). Ainsi, au moment du lancement de la plateforme fin 2013, plus de 60 % des inscriptions multiples étaient groupées. Cette proportion a chuté à 30 % juste avant l'été 2014, pour remonter par la suite.

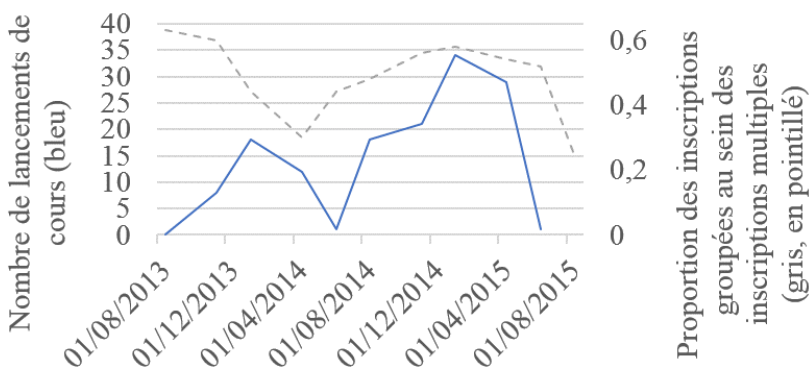


Figure 4 • Évolution de la proportion d'inscriptions groupées parmi les inscriptions de la plateforme en fonction de la date d'inscription

Il faudrait approfondir l'analyse pour mieux appréhender les déterminants de ces évolutions, mais il est vraisemblable que cette proportion soit liée à un certain nombre de caractéristiques de la plateforme, comme le nombre et la nature des cours ouverts aux inscriptions sur une période donnée. Cette hypothèse nous a amené à représenter sur la même figure (figure 4), en bleu, l'évolution du nombre de cours lancés au fil du temps. Mis à part au cours des premiers mois de la plateforme, période durant laquelle aucun cours n'est lancé mais où des inscriptions sont malgré tout engrangées, on observe un certain parallélisme entre le nombre de MOOC lancés et la proportion d'inscriptions groupées. Néanmoins, une analyse statistique plus poussée incluant sans doute davantage de plateformes, et fondée sur des analyses de séries temporelles, serait nécessaire pour établir rigoureusement le lien entre ces deux paramètres.

5.2.3. Le cas du retour des participants d'une itération sur l'autre

À la question de l'environnement dans lequel s'inscrit le MOOC s'ajoute celle de la trajectoire du dispositif, car un MOOC peut connaître de multiples itérations susceptibles d'être analysées globalement (Anderson *et al.*, 2014). C'est là une particularité des MOOC qui ne sont pas ouverts en permanence, il peut y avoir retour d'inscrits d'une itération sur l'autre (Bouchet et Bachelet, 2015). Nous allons quantifier son importance avant d'en tirer les conséquences en termes d'interprétation des analyses de traces.

Pour appréhender l'importance quantitative de la réinscription, nous avons analysé les données d'inscription de quarante-six MOOC de FUN ayant connu au moins une deuxième itération au cours de la période sur laquelle porte l'étude, dont la moitié exactement est terminée au moment de l'extraction des données. Ils correspondent à 101 itérations au total et à 603476 inscriptions, et représentent donc l'essentiel des inscriptions de la plateforme. Comme (Chuang et Ho, 2016), nous constatons une chute quantitative de l'audience au fil des différentes itérations d'un même MOOC. En moyenne, le nombre d'inscrits au cours d'une deuxième itération d'un cours correspond à 74 % (± 33 %) du nombre d'inscrits de la première. Par ailleurs, on observe un phénomène de réinscription d'une édition sur l'autre.

Sur ces quarante-six cours, si l'on se cantonne uniquement aux deuxièmes itérations, on constate que 12,8 % des inscriptions correspon-

dent à des réinscriptions de participants à la première itération. La proportion de ces réinscriptions dans l'audience d'un cours ne passe jamais sous la barre des 5 %, et peut atteindre 37 % des inscrits dans certains cas. Les individus qui se réinscrivent représentent en moyenne 7,8 % des participants de la première itération du cours ; la probabilité d'obtenir le certificat pour les participants qui se réinscrivent est sensiblement inférieure à celle des autres utilisateurs du cours : 9 % pour un réinscrit contre 10,5 % pour les autres participants.

Sans être négligeable, le phénomène du retour ne joue que marginalement sur la question des taux de certification. Il est plausible que les comportements de ces réinscrits diffèrent sensiblement de ceux des autres participants, en particulier s'ils ont déjà visualisé au cours de la première inscription une partie des ressources du cours⁵. Pour cette raison, ce n'est pas tant l'existence de nouvelles itérations d'un cours qui nous semble intéressante à prendre en compte pour mieux interpréter l'engagement des participants dans le cours, mais plutôt celle du nombre de cours ouverts à un moment donné. Sans pouvoir le démontrer formellement à partir des données que nous avons présentées, celles-ci nous amènent à émettre l'hypothèse selon laquelle plus le nombre de cours ouverts à un instant donné est élevé, plus un participant a tendance à réaliser des inscriptions groupées, et plus l'engagement moyen dans chaque cours décroît, qu'on le mesure en heures ou en nombre d'actions réalisées.

6. Discussion

Nous introduirons la discussion par une réflexion sur le lien entre les indicateurs issus de l'analyse des données de FUN et les notions que nous avons présentées en introduction. Sur la base de l'analyse de questionnaires et des données d'inscription, nous avons étayé l'hypothèse selon laquelle les MOOC de FUN étaient caractérisés par une prédominance de la clé d'entrée plateforme sur la clé d'entrée produit, via notamment les visites expérientielles. Cette interprétation nécessite néanmoins une démonstration plus poussée que celle que nous avons fournie jusqu'à présent.

5 Néanmoins, de telles différences ne sont pas visibles avec les seules données d'inscription ; il serait nécessaire de mobiliser les traces d'interaction de chaque cours pris individuellement.

6.1. L'inscription groupée, un indicateur de visite expérientielle ?

Nous expliquons l'importance des inscriptions groupées par l'hypothèse selon laquelle la visite expérientielle correspond à la modalité de découverte du cours la plus fréquente ; en d'autres termes, les utilisateurs n'ont généralement pas une idée précise du sujet sur lequel ils veulent se former lorsqu'ils naviguent dans un catalogue. D'autres explications sont néanmoins possibles ; les paragraphes qui suivent visent à démontrer la plausibilité moindre de ces interprétations.

Première explication alternative : l'inscription groupée est associée le plus souvent à des visites exploratoires, où le participant a déjà en tête une idée de ce qu'il souhaite apprendre et il explore Internet à la recherche d'une formation appropriée. Dès lors, une forte représentation des visites exploratoires parmi les inscriptions groupées signifierait qu'au cours d'une même journée, un participant donné ait voulu, sans connaître l'offre de la plateforme, se former sur plusieurs sujets distincts, et qu'incidemment l'offre de FUN ait correspondu à ces différentes attentes, déclenchant une succession d'inscriptions. Le nombre de cours de FUN ouverts aux inscriptions à un moment donné ne dépasse qu'exceptionnellement la trentaine (figure 4). C'est assez pour autoriser des inscriptions groupées, mais c'est vraisemblablement trop peu pour coïncider avec des besoins préexistants d'autant de participants. Il est en effet peu plausible qu'un nombre si élevé de participants, d'une part, ait eu en tête une liste de thématiques sur lesquelles se former et, d'autre part, ait trouvé dans l'offre de la plateforme, relativement réduite à un instant donné, de nombreux cours correspondant à cette liste.

Deuxième cas, celui de la visite expéditive ; rappelons qu'elle implique que l'utilisateur ait identifié en amont, parce qu'un tiers lui aura suggéré un MOOC en particulier, le cours auquel il veut s'inscrire dans le catalogue. Il ne navigue sur la plateforme que pour s'y inscrire. La prépondérance des visites expéditives parmi les inscriptions groupées impliquerait que nombre de participants ne se connectent que pour s'inscrire successivement à plusieurs cours dont ils avaient entendu parler en amont. Là encore, ce scénario paraît peu vraisemblable, si tant est que l'on considère que les courriels envoyés par la plateforme aux utilisateurs pour les informer des nouveaux cours ne sont qu'un prolongement du catalogue. Il faudrait pour cela qu'on leur ait recommandé deux, trois, quatre cours parfois - ou qu'ils les aient découverts dans un article de journal par

exemple - cours dont les inscriptions, incidemment, seraient ouvertes au moment où l'utilisateur se connecte. Le scénario n'est pas impossible, mais on peut douter de sa plausibilité.

Par élimination, la prévalence de visite expérientielle constitue la meilleure explication pour interpréter la forte représentation des inscriptions groupées. Cette hypothèse ne signifie pas qu'il existe une équivalence entre inscriptions groupées et visites expérientielles, mais simplement qu'il existe une forte corrélation entre les deux. En effet, les entretiens que nous avons menés par ailleurs (Cisel, 2016) suggèrent que la première inscription d'une série d'*inscriptions groupées* peut être issue d'une visite exploratoire ou d'une visite expéditive, et que seules la ou les suivantes découlent à proprement parler de visites *expérientielles*. Le participant découvre la plateforme car il a entendu parler d'un cours en particulier, ou parce qu'il cherche à se former sur un sujet défini ; après avoir effectué cette première inscription, il parcourt pour le plaisir l'offre de la plateforme et s'inscrit à de nombreux autres cours. Il est néanmoins impossible de détecter l'existence de telles stratégies mixtes sur la base des seules données d'inscription, sans donnée auto-déclarée. A défaut de pouvoir collecter pour chaque inscription les modalités de découverte du cours, la dimension qualitative (Cisel, 2016) de notre enquête a permis d'éclairer certains des mécanismes sous-jacents à ces inscriptions groupées, et de manière générale, pourquoi les utilisateurs s'inscrivent à plus de cours qu'ils ne peuvent en suivre *a priori*.

6.2. De l'intention de l'utilisateur au moment de l'inscription

Les entretiens nous ont permis en premier lieu de constater que les participants peuvent sous-estimer le temps que prendra chaque MOOC individuellement, réaliser une fois la formation commencée le problème de la contrainte temporelle et se désengager d'au moins un d'entre eux. Ils peuvent vouloir les comparer, pour choisir un cours en particulier après quelques heures d'investissement. Ils peuvent n'avoir aucune intention de s'engager dans la formation, notamment lorsqu'ils cherchent avant tout, par l'inscription à de multiples cours, à bénéficier de la possibilité de retrouver le lien vers la formation plus facilement s'ils veulent en consulter plus tard les ressources (on ne peut accéder aux ressources d'un cours terminé qu'en s'étant inscrit en amont). À cet égard, nos analyses vont dans le sens des propos de Koller (2013), lorsqu'elle affirme que nombre d'utilisateurs s'inscrivent sans véritable intention de suivre l'ensemble des

cours choisis, d'une part, et/ou qu'ils sont dans l'impossibilité de suivre autant de MOOC de manière simultanée, d'autre part.

Il s'agit d'un panel non exhaustif d'hypothèses dont il est bien malaisé de mesurer l'importance respective du fait des limites de l'approche par enquête. Certains auteurs ont montré (Reich, 2014), sur la base d'analyses croisant traces d'interaction et données de questionnaire, que les biais d'auto-sélection limitaient considérablement la possibilité d'appréhender les intentions des répondants au moment de l'inscription.

6.3. Organisation en catalogues, trajectoires de dispositifs et analyses de traces

Rappelons enfin que nous avons saisi l'opportunité offerte par ces analyses pour montrer que les caractéristiques des inscriptions, et donc l'engagement au sein des cours, pouvaient dépendre de dynamiques propres à la plateforme. Nous faisons en particulier l'hypothèse que la visite expérientielle est d'autant plus prépondérante au sein d'une plateforme que l'offre est riche sur le plan quantitatif. Toutes choses restant égales par ailleurs, la multiplication des inscriptions est selon cette hypothèse positivement corrélée au nombre de cours dont les inscriptions sont ouvertes. Cette hypothèse pourrait être testée sur la base d'études corrélationnelles menées à l'échelle de différentes plateformes, visant à établir un lien entre le nombre de cours ouverts à un instant donné et l'inscription multiple.

Une telle considération est sans doute pertinente dès lors que l'on s'intéresse aux traces des cours en ligne organisés en catalogues, qu'ils soient ou non payants et ouverts à tout moment. Il en va de même pour la question de la trajectoire d'un dispositif (que nous avons illustrée avec la question du retour d'utilisateurs revenant de manière régulière).

Le problème du retour et de son impact sur les comportements des utilisateurs n'a ici été qu'évoqué ; il est spécifique des cours aux itérations multiples, mais on peut arguer que la trajectoire du dispositif mérite également d'être explorée pour les cours en ligne ouverts en permanence. Sans parler de retour à proprement parler, puisqu'il n'y a pas nécessairement désinscription puis réinscription, il est vraisemblable que certains apprenants ne s'engagent dans le cours que par à-coups. Ils suivent une partie du cours sur un laps de temps réduit, quelques jours par exemple, pour y retourner plusieurs semaines voire plusieurs mois plus tard afin de bénéficier du reste de la formation, ou afin de réviser des segments de la

formation. Si la question a été dans une certaine mesure étudiée sur les MOOC dits « archivés » (Campbell, Gibbs, Najafi, et Severinski, 2014), c'est-à-dire inactifs mais accessibles aux personnes s'étant déjà inscrites, elle n'a, à notre connaissance, pas été étudiée dans le cas des cours ouverts en permanence.

7. Conclusion

Nous concluons cet article en discutant de l'une des principales limitations de ce travail, l'impossibilité d'obtenir certaines données cruciales pour étayer plus solidement nos hypothèses, et en soulignant les questions éthiques que soulève ce type d'analyse.

L'une des principales limites de notre démonstration est que nous ne disposons pas des données sur la navigation précédant la session menant à l'inscription au cours. À notre connaissance, seul un article (Clow, 2013) a abordé la question des données de navigation précédant l'inscription, sur la base des données de trois MOOC connectivistes. Ces résultats restent embryonnaires et mériteraient d'être étendus à un travail sur une plateforme prise dans sa totalité.

Ces données pourraient nous aider à identifier un type de visite donnée. On peut par exemple supposer qu'un utilisateur naviguant sur les pages de présentation de nombreux cours correspondant à des disciplines distinctes, avant de s'inscrire à un cours donné, est probablement en train de réaliser une visite expérientielle. À l'inverse, une visite rapide, pour laquelle le délai entre la connexion à la plateforme et l'inscription est minimal, correspond plus vraisemblablement à une visite expéditive. Enfin, elles permettraient de déterminer si un apprenant a visité en amont la page de présentation du cours, peut-être plusieurs heures ou plusieurs jours auparavant, avant de prendre la décision de s'inscrire. Le principal problème associé à ce type de données réside dans le fait que très souvent, les participants naviguent sur le catalogue sans s'être identifiés - ils ne s'identifient qu'au moment de l'inscription. Alternativement, ils prennent souvent connaissance des cours qui les intéressent par les courriels envoyés par la plateforme et « naviguent » sur une version tronquée du catalogue au sein de leur messagerie. L'un comme l'autre de ces deux phénomènes complexifieraient l'interprétation de ces données de navigation précédant l'inscription.

Par ailleurs, l'utilisation de telles données par les plateformes soulève des questions éthiques, analogues à celles que présente l'existence de

publicités ciblées fondées sur les cookies, lors d'une navigation sur Internet. Le respect de la vie privée n'est pas ici la seule dimension à prendre en compte ; après tout, si les données sont anonymisées rigoureusement, le problème n'est que secondaire. L'utilisation des données de navigation et d'inscription soulève en revanche d'autant plus de questions qu'elles sont utilisées au quotidien par les plates-formes américaines comme *edX* ou *Coursera* à des fins de recommandation. Ces acteurs envoient régulièrement des courriels à leurs utilisateurs proposant des listes de cours susceptibles de les intéresser, listes dont la personnalisation est fondée sur les données d'inscription.

Une bonne compréhension du processus de sélection et de suivi des cours peut certes être utilisée pour mieux répondre aux besoins réels ou supposés des utilisateurs, mais elle peut également être mobilisée pour permettre aux plateformes payantes d'augmenter leurs ventes, sans que la question de l'intérêt de l'apprenant ne soit centrale. Et si l'on ne saurait reprocher aux acteurs de l'écosystème de vouloir assurer leur viabilité économique, il est à craindre que les intérêts économiques de ces derniers ne soient pas systématiquement alignés avec les intérêts des utilisateurs des plates-formes en termes d'objectifs d'apprentissage. Nous voilà à nouveau face aux contradictions des acteurs des MOOC, pris entre la difficulté à établir des modèles économiques et la velléité, présente au moins dans les discours (Koller, 2013), d'accroître toujours plus l'accessibilité de cours en ligne de qualité.

La compréhension des processus de choix au sein d'une offre toujours croissante présente sans doute un intérêt pour la communauté scientifique et pour celle des praticiens. Espérons néanmoins qu'elle ne contribue pas à soutenir une logique essentiellement mercantile de l'apprentissage en ligne, incompatible avec les idéaux qui animèrent sans doute au moins une partie des acteurs impliqués initialement dans le phénomène MOOC.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à adresser ses remerciements à l'équipe de France Université Numérique pour l'accès à des données que peu de plateformes ont accepté de partager. Il remercie également Monique Baron pour sa

relecture des dernières versions de l'article et pour ses retours, toujours précis et pertinents.

RÉFÉRENCES

Albo, L., Hernández-Leo, D. et Oliver, M. (2016). Are higher education students registering and participating in MOOCs? The case of MiriadaX. Dans *Proceedings of the European MOOCs Stakeholders Summit (EMOOCs 2016)* (p. 197-211). Norderstedt, Allemagne : BoD.

Anderson, A., Huttenlocher, D., Kleinberg, J. et Leskovec, J. (2014). Engaging with massive online courses. Dans *Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web* (p. 687-698). New York, NY : ACM.

Banerjee, A. V. et Duflo, E. (2014). (Dis)organization and success in an economics MOOC. *American Economic Review*, 104(5), 514-18.

Barak, M., Watted, A. et Haick, H. (2016). Motivation to learn in massive open online courses: Examining aspects of language and social engagement. *Computers & Education*, 94, 49-60.

Bean, J. P. et Metzner, B. S. (1985). A conceptual model of nontraditional undergraduate student attrition. *Review of Educational Research*, 55(4), 485-540.

Boshier, R. (1973). Educational participation and dropout: A theoretical model. *Adult Education Quarterly*, 23(4), 255-282.

Bouchet, F. et Bachelet, R. (2015) Do MOOC students come back for more? Recurring Students in the GdP MOOC. Dans *Proceedings of the European MOOCs Stakeholders Summit* (p 174-182).

Breslow, L., Pritchard, D., DeBoer, J., Stump, G., Ho, A. et Seaton, D. (2013). Studying learning in the worldwide classroom: Research into edX's first MOOC. *Journal of Research & Practice in Assessment*, 8, 13-25.

Campbell, J., Gibbs, A. L., Najafi, H. et Severinski, C. (2014). A comparison of learner intent and behaviour in live and archived MOOCs. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, 15(5). Récupéré de : <https://goo.gl/hgs83u>

Chuang, I. et Ho, A. (2016). *HarvardX and MITx: Four years of open online courses-fall 2012-summer 2016*. Récupéré de : https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2889436

Cisel, M. (2015). Réponses aux détracteurs de l'enseignement en ligne. *Cités*, 63(3), 99-108. <https://doi.org/10.3917/cite.063.0099>

Cisel, M. (2016). *Utilisations des MOOC, éléments de typologie*. (Thèse de doctorat, ENS Paris-Saclay, France). Récupéré de : <http://www.theses.fr/2016SAACLN024>

Cisel, M. (2017). Analyser les taux de certification des MOOC au prisme du comportement d'inscription. Dans *Actes du 8^{ème} colloque EIAH (EIAH 2017)* (p. 167-177).

Cisel, M. et Bruillard, E. (2013). Chronique des MOOC. *STICEF*, 19. Récupéré de : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2012/13r-cisel/sticef_2012_cisel_13r.htm

Cisel, M. et Leh, A. (2017). Les MOOC, entre transposition de cours universitaires et adaptation à la massification des audiences. *Revue Internationale des Technologies en Pédagogie Universitaire*, 14(3), 35-46.

Clow, D. (2013). MOOCs and the funnel of participation. Dans *Proceedings of the Third Conference on Learning Analytics and Knowledge* (p. 185-189).

Daniel, J. (2012). Making sense of MOOCs: Musings in a maze of myth, paradox and possibility. *Journal of Interactive Media in Education*, 3(0). Récupéré de : <https://jime.open.ac.uk/articles/10.5334/2012-18/>

Garrison, D. R. (1985). Predicting dropout in adult basic education using interaction effects among school and nonschool variables. *Adult Education Quarterly*, 36(1), 25-38.

Gillani, N. et Eynon, R. (2014). Communication patterns in massively open online courses. *The Internet and Higher Education*, 23, 18-26.

Greene, J. A., Oswald, C. A. et Pomerantz, J. (2015). Predictors of retention and achievement in a Massive Open Online Course. *American Educational Research Journal*, 52(5), 925-955.

Hackman, J. R. et Dysinger, W. S. (1970). Commitment to college as a factor in student attrition. *Sociology of Education*, 43(3), 311-324.

Isaac, H. et Volle, P. (2008). *E-commerce: de la stratégie à la mise en oeuvre opérationnelle*. Paris : Pearson Education France.

Kember, D. (1989). A longitudinal-process model of drop-out from distance education. *The Journal of Higher Education*, 60(3), 278-301.

Kemp, W. C. (2002). Persistence of adult learners in distance education. *American Journal of Distance Education*, 16(2), 65-81.

Kizilcec, R. F. et Schneider, E. (2015). Motivation as a lens to understand online learners. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 22(2), 6:1-6:24.

Koller, D. (2013). Retention and intention in Massive Open Online Courses: In depth. *Educause*. Récupéré de : <https://goo.gl/aqcGMu>

Munro, B. H. (1981). Dropouts from higher education: Path analysis of a national sample. *American Educational Research Journal*, 18(2), 133-141.

Perna, L. W., Ruby, A., Boruch, R. F., Wang, N., Scull, J., Ahmad, S. et Evans, C. (2014). Moving Through MOOCs Understanding the Progression of Users in Massive Open Online Courses. *Educational Researcher*, 43(9), 421-432.

Reich, J. (2014). MOOC completion and retention in the context of student intent. *EDUCAUSE Review*. Récupéré de : <https://goo.gl/Q2cmhu>

Rosé, C. P., Carlson, R., Yang, D., Wen, M., Resnick, L., Goldman, P. et Sherer, J. (2014). Social factors that contribute to attrition in MOOCs. Dans *Proceedings of the First ACM Conference on Learning @ Scale Conference* (p. 197-198). New York, NY : ACM. <http://dx.doi.org/10.1145/2556325.2567879>

Stenger, T. et Bourliataux-Lajoie, S. (dir.). (2014). *E-marketing et e-commerce. Concepts, outils, pratiques* (2^e éd.). Paris, France : Dunod.

Sweet, R. (1986). Student dropout in distance education: An application of Tinto's model. *Distance Education*, 7(2), 201-213.

Tinto, V. (1975). Dropout from higher education: A theoretical synthesis of recent research. *Review of Educational Research*, 45(1), 89-125.

Matthieu CISEL

Tinto, V. (1982). Limits of theory and practice in student attrition. *The Journal of Higher Education*, 53(6), 687-700.

Tinto, V. (1987). *Leaving college: Rethinking the causes and cures of student attrition*. Chicago, IL : University of Chicago.

Tinto, V. (2006). Research and practice of student retention: What next? *Journal of College Student Retention: Research, Theory et Practice*, 8(1), 1-19.

Université d'Edimbourg (2013). MOOCs @Edinburgh 2013 - Report #1, Récupéré de : <https://goo.gl/zanmmk>

Vaughan, R. P. (1968). College dropouts: Dismissed vs. withdrew. *The Personnel and Guidance Journal*, 46(7), 685-689.

Zawacki-Richter, O. et Anderson, T. (dir.). (2014). *Online distance education: Towards a research agenda*. Athabasca University Press, Canada.



Analyse des usages d'aides par QR codes et de leurs effets dans un manuel scolaire augmenté

► **Gaëtan TEMPERMAN, Stéphanie MONTAGNE,
Bruno DE LIÈVRE, Karim BOUMAZGUIDA**
(DESTE, Université de Mons)

■ **RÉSUMÉ** • Dans la vie quotidienne, les QR codes sont largement utilisés pour partager et diffuser de l'information. Peu d'études rapportent toutefois des effets de leurs usages dans un contexte de formation pour réguler l'apprentissage. Dans cette contribution, nous nous intéressons à l'effet de relances (*prompts*) proposées par les QR codes dans un manuel d'éveil historique en version papier intégrant des éléments de réalité augmentée. À partir d'un plan expérimental, les résultats de notre étude, réalisée dans une classe d'école fondamentale, tendent à montrer que les élèves qui bénéficient de relances par les QR Codes pour guider leur recherche et leur traitement d'informations progressent davantage dans la maîtrise du contenu traité. Il ressort également que ce sont les apprenants les plus avancés dans l'apprentissage au départ qui les ont les plus utilisés. Par ailleurs, l'analyse des résultats indique que les *prompts* ont également un impact significatif sur la performance en cours d'apprentissage.

■ **MOTS-CLÉS** • QR codes, guidance, relances, étayage, plan expérimental-

■ **ABSTRACT** • *In daily life, QR codes are used to share and diffuse information. The effects of their uses are very little evaluated in education's context. In this paper, we evaluate the effects of prompts of QR codes in a history course book with augmented reality. With an experimental design, our analysis realised in a primary school highlights that learners whose benefit from prompts to research and treat information progress more. The prompts are the most used by the learners with an advanced level. Moreover, prompts can impact to learners' performances during the learning process.*

■ **KEYWORDS** • *QR codes, guidance, prompts, scaffolding, experimental design*

1. Introduction

Si la littérature rapporte quelques résultats d'expérimentations concernant l'usage des QR codes en contexte de formation (Sardin *et al.*, 2013), peu d'études envisagent d'analyser l'usage de ces informations comme outil d'autorégulation de l'apprentissage. Dans cette perspective, l'outil peut s'avérer pertinent quand les apprenants construisent leur propre apprentissage à travers des interactions actives avec les environnements réels en fonction de leurs besoins. Dans le cadre de cette contribution, nous souhaitons plus particulièrement apporter des éléments de réponse quant au bénéfice apporté par l'intégration de QR codes pour les amener à réguler leur apprentissage dans un manuel scolaire intégrant des éléments de réalité augmentée.

D'un point de vue pragmatique, cette investigation se justifie dans la mesure où le marché de l'édition scolaire reste important. En France, il reste le 2^e secteur de l'édition du livre avec près de 60 millions de manuels vendus en 2016 (Syndicat national de l'édition, 2017). Si ceux-ci peuvent guider le travail pédagogique, ils contraignent également les enseignants à suivre les méthodologies proposées. Un degré de liberté peut être néanmoins apporté avec les QR codes. Ils peuvent en effet constituer une piste intéressante pour y intégrer des ressources supplémentaires afin de différencier les parcours d'apprentissage et de favoriser un travail en autonomie.

Dans notre étude, nous nous intéressons plus précisément à la manière dont les apprenants utilisent ces différentes ressources complémentaires et à leur progression dans l'apprentissage ainsi qu'aux liens entre ces différentes variables. Pour guider la mise en œuvre et l'analyse des résultats de cette expérimentation, nous examinons tout d'abord la littérature en nous intéressant d'une part, à la régulation des apprentissages et d'autre part, aux usages et aux effets des QR codes dans un contexte de formation.

2. Régulation de l'apprentissage

Un relatif consensus existe dans la littérature autour de l'idée que la régulation de l'apprentissage est un facteur décisif pour apprendre et pour faire apprendre (De Lièvre, Depover et Dillenbourg, 2006). Kirschner, Sweller et Clarck (2006) mettent en avant à cet égard la notion de guidage qui correspond à l'aide à fournir aux apprenants lors d'activités de découverte en autonomie. Cette action pédagogique se justifie dans la mesure où les apprenants peuvent se retrouver rapidement en situation de sur-

charge cognitive (Mayer, 2009) lors de l'appropriation d'un nouveau contenu et du traitement de l'information liée à celui-ci.

Afin d'aider au maximum les étudiants à réguler leur apprentissage, Hattie et Timperley (2007) mettent en avant l'importance de fournir des *feed-back*. Ceux-ci peuvent porter sur l'atteinte des objectifs à atteindre, sur le processus mis en œuvre et sur les stratégies à mettre en œuvre par la suite. Ces retours d'informations impliquent des communications avec l'enseignant ou avec le système informatique. Pour fournir un *feed-back* approprié, il est indispensable de s'appuyer sur les traces des activités des apprenants (Temperman, 2013). Celles-ci peuvent cependant s'avérer difficiles à obtenir dans un contexte qui mobilise des médias comme des manuels scolaires non numériques. Pour contourner ce problème, il peut donc être pertinent de donner aux apprenants des critères qui les aident à évaluer leurs propres performances d'apprentissage. Dans une situation d'apprentissage avec un hypermédia, Azevedo et Cromley (2004) mettent en évidence que les apprenants parviennent à mieux se réguler en leur donnant accès à des outils d'aide (De Lièvre *et al.*, 2006). L'encadrement de l'apprentissage est alors envisagé selon une logique proactive. Celle-ci consiste à anticiper les difficultés des apprenants en attirant leur attention sur les aspects importants de la tâche et en orientant les élèves vers les ressources disponibles. La proactivité a donc pour objectif de prévoir l'action de l'apprenant ou du groupe d'apprenants en lui suggérant des démarches pour les guider dans le processus d'apprentissage avant qu'une difficulté ne survienne dans celui-ci. Le principe de la proactivité doit les amener à exploiter au mieux le potentiel de l'environnement dans lequel ils progressent. La proactivité donnerait à l'apprenant le sentiment d'être encadré en l'amenant à rester en état de veille cognitive. Par ailleurs, elle lui permettrait de prendre plus rapidement conscience de l'utilité des ressources disponibles dans l'environnement pour surmonter une difficulté en cours d'apprentissage. Sur le plan cognitif, la proactivité permet de diminuer la charge intrinsèque en mémoire de travail tout en stimulant la charge générative liée à la tâche en mémoire de travail.

Dans ces environnements, les systèmes d'accompagnement ont pour objectif de favoriser des démarches d'autorégulation. Selon Cosnefroy (2012), l'autorégulation passe par un subtil équilibre entre autonomie et effort. L'habileté à apprendre indépendamment de l'enseignant exige en effet des efforts importants. L'idée d'effort est également reprise par Vohs et Baumeister (2004, cités dans Cosnefroy, 2012) qui définissent le concept comme l'effort personnel consenti pour modifier ses états internes et son

comportement. Ce lien entre effort et autonomie peut s'expliquer par le fait que l'engagement, dans une activité d'apprentissage, représente un coût important qui demande de renoncer à d'autres activités, peut-être plus attractives, dans son environnement. Pour Hattie (2009) dans sa méga-analyse, la stimulation des stratégies métacognitives et d'autorégulation est essentielle pour apprendre et faire apprendre. Il met d'ailleurs en avant que ces pratiques peuvent induire une taille d'effet de .69 en termes de performance pour les apprenants. Pour stimuler ce mécanisme d'autorégulation, Amadiou et Tricot (2014) proposent l'usage des *prompts*, ou de *guides* qui se présentent sous la forme de questions simples (« *De quoi parle le contenu que vous venez de découvrir ?* »), de phrases à compléter ou de consignes de relance (« *Sois attentif à cet élément pour résoudre le défi.* »). De cette façon, les *prompts* peuvent soutenir les processus d'apprentissage autorégulés en activant la mise en œuvre de stratégies métacognitives et en stimulant la motivation de l'apprenant à s'engager dans la tâche. D'après Lehmann, Hähnlein et Ifenthaler (2014), l'intégration de *prompts* induit des effets positifs sur la performance et sur le processus d'apprentissage. Leur efficacité passe par leur utilisation dès le début de l'apprentissage dans la mesure où ils permettent d'induire des stratégies métacognitives chez les apprenants et d'initier leur engagement dans la tâche. Un autre résultat intéressant ressort de l'étude : il indique que les *prompts* spécifiques et contextualisés en lien avec les tâches à réaliser sont plus efficaces que des *prompts* plus généraux. Dans le même ordre d'idées, Conderman et Hedin (2010) proposent d'utiliser des *cuecards* en cours d'apprentissage pour étayer la tâche des apprenants et les stimuler à mobiliser des stratégies d'autorégulation. Ces cartes sont l'occasion de leur expliciter une procédure à suivre lors d'une activité en autonomie.

3. Usages des QR codes dans un contexte de formation

Sur le plan technologique, le QR code est un dispositif qui permet le passage de l'espace figé de l'écrit à l'espace ouvert du numérique. Il constitue un outil simple, puissant et rapide qui automatise une liaison entre un support imprimé et le numérique par la création de fichiers images lisibles à partir d'un smartphone ou d'une tablette. La littérature pédagogique rapporte quelques études documentant l'intégration de ce type de dispositif dans un contexte de formation, principalement dans l'enseignement supérieur. Dans une étude expérimentale, Rikala et Kankaanranta (2012) montrent un degré de motivation élevé à utiliser les QR codes chez les apprenants en tant que support d'apprentissage, qui peut les amener à

mettre en œuvre un apprentissage en autonomie et collaboratif. Dans une autre étude menée par McCabe et Tedesco (2012), les apprenants expriment un avis positif par rapport aux QR codes. Ils considèrent qu'ils sont plus productifs quand ils peuvent en disposer. Dans la mesure où ils ne doivent pas faire appel à un enseignant ou à leurs pairs, ils sont également moins anxieux dans cette situation. Ce résultat corrobore les conclusions de l'étude de Ozcelik et Acartuk (2011) qui montre que l'usage des QR codes aide l'apprentissage, car l'accès à l'information est plus rapide. Il va également dans le sens des observations de Durak, Ozkeskin et Ataizi (2016), qui indiquent que les apprenants dans un contexte universitaire n'éprouvent pas de difficulté particulière pour les utiliser et considèrent qu'ils sont utiles dans un contexte d'apprentissage.

En termes de performance, Chen, Teng et Lee (2011) mettent en avant que l'usage des QR codes pour accéder à des informations digitales dans des tâches de lecture sur papier n'a pas d'effet significatif sur le degré de compréhension des élèves. Dans un contexte de jeu de pistes, Vieux (2012) souligne l'importance des modalités d'intégration des QR codes dans l'activité pédagogique. Le QR code peut être ainsi peu pertinent sur un support de présentation en classe, mais se révéler plus intéressant dans une situation de recherche en autonomie. Cette observation semble corroborer les résultats obtenus par Bal et Bicen (2016) et par Rasul, Rauf et Affandi (2017). Réalisée dans le contexte d'un cours d'informatique, l'étude de Bal et Bicen montre les effets positifs de l'usage des QR codes lors d'une tâche d'analyse et de résolution de problème sur le développement des compétences ciblées. Ce bénéfice sur l'apprentissage s'accompagne en parallèle d'une opinion favorable des étudiants par rapport à ce type d'usage. Les résultats de Rasul, Rauf et Affandi mettent quant à eux en évidence un niveau d'efficacité élevé d'un module de formation sur le développement durable et intégrant des QR codes pour accéder à des ressources supplémentaires.

En ce qui concerne la perception des enseignants par rapport à l'intégration de QR codes dans des activités pédagogiques, Ali, Santos et Areepattamannil (2017) montrent que les enseignants ont un avis positif en particulier au niveau de la flexibilité de l'outil pour des usages pédagogiques et de sa facilité de mise en œuvre sur le plan technologique.

Sur la base de notre examen théorique, nous pouvons retenir que les différentes études relatives aux QR codes rapportées ci-dessus tendent à montrer que leur utilisabilité et leur utilité dans un contexte de forma-

tion sont relativement bonnes. La présente étude investigate plus spécifiquement la question de leur usage dans une situation d'apprentissage auto-régulé. Notre hypothèse est que l'apport de relances via QR code peut faciliter l'apprentissage réalisé dans un contexte d'auto-formation. Pour éprouver celle-ci, cette recherche s'appuie sur un plan expérimental permettant d'évaluer deux conditions de la séquence : un groupe d'apprenants bénéficiant de relances et un groupe ne disposant pas de ce support.

4. Méthodologie

4.1. Environnement d'apprentissage

Le contexte de notre recherche est celui d'un apprentissage en éveil historique et porte sur la découverte de la période du « Moyen-âge ». Notre étude s'est déroulée dans l'enseignement fondamental en Belgique auprès de 24 apprenants (entre 11 et 12 ans) de 5^e - CM2 - (16 sujets) et 6^e année (8 sujets) répartis équitablement en deux groupes constitués de 12 individus chacun. La constitution de ces groupes résulte de la division de chacune des deux classes en deux, de manière aléatoire. Cette démarche nous est apparue comme étant la plus pertinente afin d'observer le plus fidèlement possible si l'utilisation des *prompts* via QR codes impacte la qualité des apprentissages sans tenir compte de la variable « âge » des apprenants. Un pré-test a permis l'évaluation de leurs connaissances préalables. Un post-test a permis de mesurer le niveau d'appropriation atteint au terme du dispositif de formation. Pour guider l'élaboration de ces épreuves, les différents items (N = 20) relatifs à ces évaluations (pré/post-test) sont construits en nous référant à quatre niveaux de complexité de la taxonomie de Bloom (1979), à savoir : la connaissance (N = 10), la compréhension (N = 3), l'application (N = 1) et l'analyse (N = 6). Notons que le post-test est identique au pré-test, mais les items sont présentés dans un ordre différent. Durant l'expérimentation, il a été demandé aux apprenants de répondre à des questions relatives à l'étude du Moyen-âge en recherchant à l'aide de tablettes numériques, via le logiciel de réalité augmentée « Aurasma », des *auras*. Une *aura* correspond à une incrustation virtuelle (image, son, vidéo...) activée par le scanning d'un élément déclencheur (une image par exemple). Celles-ci ont préalablement été programmées avec ledit logiciel, dans un manuel scolaire. Les *auras* permettent aux apprenants d'accéder à des médias supplémentaires (par exemple, le plan du château, une vue 3D d'un élément du château, etc.). Cet apprentissage pour l'acquisition d'une démarche de recherche proposée aux apprenants découle des « quatre étapes de recherche

d'informations » : la prise de conscience, le but de recherche, l'activité de recherche et l'évaluation des éléments sélectionnés. Pendant l'apprentissage, les apprenants ont soit bénéficié d'un guidage supplémentaire via l'emploi des *prompts*, soit ils ont pu évoluer de façon autonome afin de s'approprier les compétences évoquées précédemment. Les *prompts* intégrés dans le manuel ont pour objectif d'aider les élèves à trois niveaux possibles. Les *prompts* cognitifs explicitent des informations par rapport au contenu à traiter (*Que se passe-t-il lorsqu'il y a un partage et que tout le monde veut être le chef?*). Les *prompts* liés à la navigation délivrent des informations sur la procédure à suivre dans le manuel (*Aide-toi de l'aura présente sur le document 3 pour pouvoir répondre à cette question*). Enfin, les *prompts* métacognitifs proposent des conseils pour prendre du recul par rapport à son activité d'apprentissage (*As-tu répondu aux différentes questions proposées sur cette page?*).



Figure 1 • Intégration d'auras et de prompts dans le manuel d'histoire

Dans cette expérience réalisée en contexte réel, nous manipulons donc une variable indépendante qui porte sur l'intégration (Groupe Avec *Prompts*) ou non de *prompts* (Groupe Sans *Prompts*) dans la séquence pédagogique mobilisant le manuel augmenté.

4.2. Variables dépendantes et questions de recherche

Notre première variable dépendante correspond à la progression de chaque apprenant. Elle est obtenue à partir de gains relatifs calculés entre le pré-test et le post-test administrés aux apprenants. Le tableau 1 présente les deux formules à considérer en fonction de la comparaison préalable entre le pré-test et le post-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 (le minimum est alors de 0). Cette évaluation du gain réel pondéré par le gain maximum qui est possible permet de mesurer l'efficacité intrinsèque du dispositif. Ce rapport entre la progression possible et la progression observée donne ainsi la possibilité de comparer les progrès des élèves, quel que soit leur niveau de départ (Temperman, Walgraeve, De Lièvre et Boumazguida, 2017).

**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 = $100 \times \frac{\text{Post} - \text{Pré}}{\text{Pré}}$

Notre deuxième variable dépendante porte sur le processus d'apprentissage. À l'aide d'une observation directe, nous avons objectivé l'utilisation réelle des *auras* et des *prompts* présents dans le manuel par chaque élève. Au fil de la séquence pédagogique, nous avons dénombré par une observation in situ chaque utilisation ou non des *auras* ou des *prompts*.

Notre troisième variable dépendante concerne la performance des élèves en cours d'apprentissage. Comme explicité ci-dessus, les élèves ont dû répondre durant l'expérimentation à des questions de façon manuscrite. Les questions sont au nombre de 50. Chaque bonne réponse correspond à un score d'un point. Un total pondéré sur 50 a donc pu être associé à chaque élève à la suite de son parcours de recherche et de traitement de l'information dans le manuel historique augmenté.

En nous appuyant sur ces différentes variables dépendantes, nous sommes donc en mesure d'apporter des éléments de réponse aux trois questions de recherche suivantes :

- Question 1 : L'intégration de *prompts* dans un manuel d'apprentissage de réalité augmentée influence-t-elle l'efficacité intrinsèque de la séquence pédagogique ?
- Question 2 : L'intégration des *prompts* permet-elle de réaliser une meilleure performance en cours d'apprentissage ?
- Question 3 : Comment les élèves utilisent-ils les *auras* et les *prompts* mis à la disposition dans le manuel ?

5. Résultats

Notre analyse des résultats se structure autour de nos trois questions de recherche.

5.1. Question 1 : L'intégration de *prompts* dans un manuel augmenté influence-t-elle l'efficacité intrinsèque de la séquence pédagogique ?

À la lecture du tableau 2, nous pouvons tout d'abord constater que les élèves progressent dans l'apprentissage, quelle que soit la condition (avec ou sans *prompts*). L'application d'un test de Student pour évaluer la différence de moyenne entre deux groupes indépendants nous permet de mettre en avant que les apprenants ayant bénéficié de relances (Moy = 58.12 %) progressent significativement davantage dans leur appropriation des connaissances ($t = -2.610$; $p = .020$) que les apprenants ne disposant pas de *prompts* (Moy = 40.52 %).

Tableau 2 • Statistiques descriptives relatives à la performance des apprenants

Groupes	N	Pré-test		Post-test		Gains relatifs	
		\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV
Sans <i>Prompts</i>	12	30.83	46.81	58.33	28.15	40.52	18.14
Avec <i>Prompts</i>	12	36.25	50.97	73.33	18.23	58.12	14.77

Nous observons également que la dispersion objectivée par un coefficient de variation¹ au terme de l'apprentissage (post-test) est plus réduite pour les apprenants dans la condition « *prompts* » (CV = 18.23 %) que dans le groupe témoin (CV = 28.15 %).

Cela signifie que ces aides ont un effet positif sur le niveau de maîtrise, mais également sur l'équité au sein du groupe puisque la variation interindividuelle diminue. Ce résultat va dans le sens des différents travaux documentés dans notre revue de littérature qui montre que l'intégration de relances constitue une pratique pédagogique efficace en termes de différenciation de l'apprentissage (Hattie, 2009).

1 Le coefficient de variation correspond au rapport entre l'écart-type et la moyenne. Il s'exprime en pourcentage.

5.2. Question 2 : L'intégration des *prompts* permet-elle de réaliser une meilleure performance en cours d'apprentissage ?

Après nous être attardés sur la progression, nous allons nous intéresser à la performance en cours d'apprentissage. De manière assez cohérente, nous observons à la lecture du tableau 3 la même tendance en faveur des apprenants bénéficiant des *prompts* (Moy = 74.40 %) par rapport aux apprenants sans les relances (Moy = 56.80 %). Cette différence se traduit sur le plan statistique ($t = -2.969$; $p = .007$). Nous pouvons également mettre en avant que la performance est plus homogène dans la condition « *prompts* » (CV = 15.10 %) par rapport à la condition contrôle (CV = 29.90 %).

Tableau 3 • Statistiques descriptives relatives à la performance en cours d'apprentissage

Groupes	N	\bar{x}	CV
Sans <i>Prompts</i>	12	56.80	29.90
Avec <i>Prompts</i>	12	74.40	15.10

5.3. Question 3 : Comment les élèves utilisent-ils les *auras* et les *prompts* mis à leur disposition dans le manuel ?

Étant donné que la séquence pédagogique avec le manuel augmenté semble favoriser l'apprentissage, il nous semble pertinent d'analyser dans quelle mesure les élèves ont utilisé les différentes ressources (*auras* et *prompts*) mises à disposition avec celui-ci. Nous allons tout d'abord nous intéresser à l'usage des *auras* mis à disposition de l'ensemble des apprenants. À l'observation du tableau 4, nous pouvons déjà remarquer que le degré d'utilisation des *auras* programmées par le concepteur est quasi identique pour le groupe GSP (Moy_{aura GSP} = 67,8 %) et le groupe GAP (Moy_{aura GAP} = 68,2 %).

Cette différence ne se traduit d'ailleurs pas sur le plan statistique ($t = 1.09$; $p = .284$). Autrement dit, les élèves utilisent les *auras* de façon similaire, peu importe la condition de guidance. Ces observations nous permettent de mettre en évidence que l'utilisation des *prompts* n'affecte en rien l'utilisation des *auras* dans un environnement de réalité augmentée. Les apprenants utilisant les *prompts* ne privilégient donc pas une modalité d'aide pour une autre.

Tableau 4 • Statistiques descriptives relatives à l’usage des auras

	Nombre moyen d’auras utilisées (Max = 41)	Degré d’utilisation moyenne (%)
Sans <i>Prompts</i> (GSP)	27.80	67.80
Avec <i>Prompts</i> (GAP)	28.0	68.20

D’un point de vue diachronique, nous pouvons constater à partir de la figure 2 que l’utilisation des *auras* pour les deux groupes suit plus ou moins une même courbe, peu importe la condition d’apprentissage (GAP ou GSP).

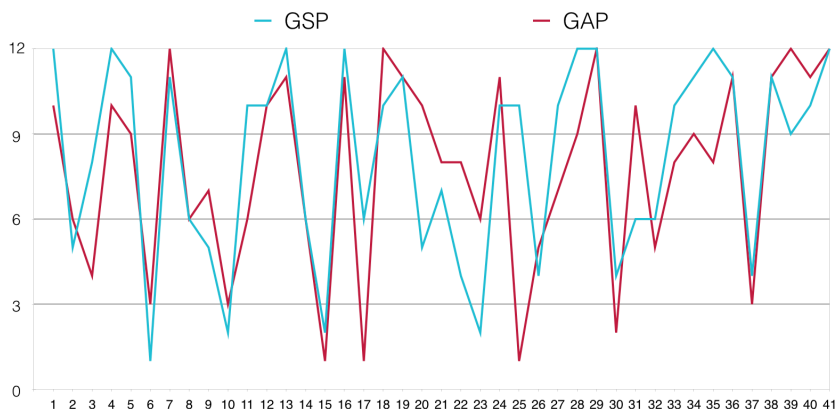


Figure 2 • Usage diachronique des auras dans le manuel

Au fil de la séquence pédagogique, on peut considérer qu’il n’y a pas d’effet de compensation d’usages entre les *prompts* et les *auras* et que les apprenants ne se retrouvent pas dans une situation de double tâche sur le plan cognitif. Une analyse corrélacionnelle entre le nombre d’usages de *prompts* et d’*auras* se révèle d’ailleurs positive et significative ($r = .640$; $p = .003$).

Partant du constat que les résultats sont meilleurs quand les apprenants ont pu profiter des aides numériques *prompts*, il nous paraît pertinent de voir comment ces élèves ont utilisé cette ressource au cours du processus d’apprentissage. Les résultats analysés dans la suite de cette étude concernent donc exclusivement l’utilisation de ceux-ci et les sujets qui y ont eu accès. Au total, le manuel intègre au total 28 *prompts*. Lors de l’étude, nous observons que les apprenants utilisent en moyenne 19,6 *prompts*. Le degré moyen d’utilisation est donc d’environ 70 %. Les

prompts n'ont cependant pas été utilisés à la même fréquence. En effet, certaines aides ont été plus utilisées que d'autres. La figure 3 représente cet usage au fil de la situation d'apprentissage. En observant cette figure, nous pouvons distinguer deux éléments importants. Premièrement, il existe des différences importantes entre certaines fréquences. Les *prompts* 3, 11, 22 et 28 ont été utilisés 11 fois tandis que les *prompts* 12, 17, 23 et 24 ont été exploités respectivement 2, 1, 5 et 4 fois. Nous nous intéressons particulièrement à ces huit relances. Ce sont en effet elles qui traduisent les plus grands écarts d'utilisation. Pour comprendre cette tendance, il faut dans un premier temps s'intéresser aux questions liées à ces *prompts* et dans un deuxième temps, analyser leur niveau de difficulté dans le but de vérifier s'il y a un lien entre la complexité des questions et l'utilisation des *prompts*.

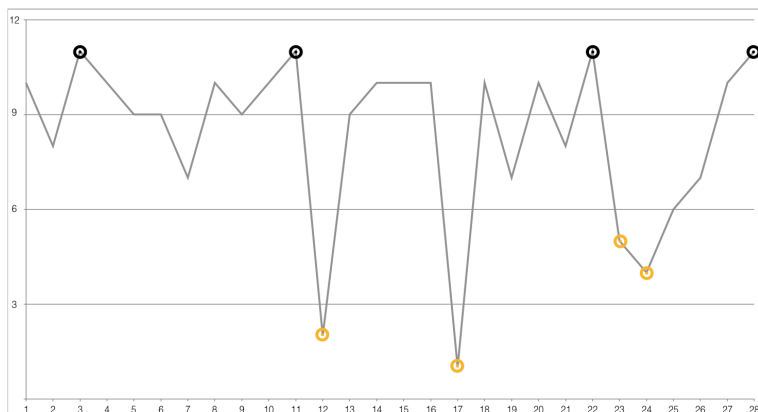


Figure 3 • Usage diachronique des *prompts* dans le manuel

Pour pouvoir traduire ce niveau de difficulté, nous pouvons nous appuyer sur l'analyse de la performance en cours d'apprentissage. Le tableau 5 associe chaque *prompt* et leur fréquence d'utilisation, les tâches leur étant relatives et le niveau de réussite à celles-ci pour les deux groupes de notre expérimentation. L'examen du tableau fait ressortir que les questions 7, 19, 37, 38 et 50 (cases grisées) sont beaucoup mieux réussies par le groupe ayant bénéficié des *prompts* que par l'autre groupe. Cette tendance s'explique justement par le fait que les *prompts* relatifs à ces questions ont été sollicités de nombreuses fois par les apprenants bénéficiant des *prompts*. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'ils ont joué un rôle d'étayage intéressant et ont aidé les élèves dans la réalisation des exercices. L'examen de la deuxième partie du tableau 5 fait ressortir

que les deux groupes expérimentaux réussissent les différentes tâches. Cependant, la réussite est plus importante dans le groupe avec *prompts*, hormis la question 22 qui a été mieux réussie par le groupe sans *prompts*. Ce résultat peut s'expliquer par la facilité des questions. Nous pouvons avancer l'hypothèse que les élèves ont moins utilisé les *prompts* dans la mesure où les tâches étaient faciles et leur semblaient possibles à réaliser seuls sans aide complémentaire.

Tableau 5 • Usages des *prompts* et degré de réussite en cours d'apprentissage

<i>Prompts</i>	Nombre d'usages	Tâches liées à l'aide	Degré de réussite (%)	
			GSP	GAP
3	11	7	41	91
11	11	19	50	75
22	11	37	41	75
		38	50	83
28	11	50	50	58
12	2	21	91	91
		22	91	83
17	1	28	75	91
		29	75	83
23	5	39	66	75
		40	75	83
24	4	41	75	83

Une analyse qualitative des questions laisse apparaître que les apprenants font plutôt appel aux *prompts* pour celles qui nécessitent des inférences (lire entre les lignes, interpréter la situation, etc.). Ce résultat laisse à penser qu'il existe un lien entre l'usage des *prompts* et le niveau de complexité des questions perçu par les élèves.

Le deuxième élément que nous voulons mettre en évidence à partir de l'examen de la figure 3 porte sur l'utilisation des *prompts* dans le temps. Nous n'observons pas un phénomène de type « effet de nouveauté ». En nous appuyant sur les travaux de De Lièvre, Depover et Dillenbourg (2006), nous pouvons estimer que cet usage tout au long de la séquence peut être associé au fait que l'aide réponde réellement aux besoins de l'apprenant et se révèle facile à utiliser. Ce résultat corrobore également l'étude de Lehmann, Hähnlein et Ifenthaler (2014) qui met en avant l'intégration de *prompts* dès le début de l'apprentissage pour mettre les élèves en confiance et par la même occasion d'agir sur leur motivation à apprendre.

D'un point de vue pédagogique, on peut également se poser la question de savoir si l'usage des *prompts* se différencie en fonction du niveau des élèves. La figure 4 permet de visualiser le lien entre le nombre d'usages des *prompts* et le niveau initial des élèves. Elle fait ressortir que ce sont les élèves plus avancés dans l'apprentissage qui utilisent le plus les *prompts*. Pour expliquer ce phénomène, on peut s'appuyer sur les observations de Chanquoy, Tricot et Sweller (2007) relatives à la charge cognitive qui mettent en évidence que l'intensité du traitement pour réaliser la tâche est d'autant plus élevée que l'apprenant manque de connaissances. Leur hypothèse est que la surcharge en mémoire de travail inhibe le partage attentionnel vers d'autres aspects de la tâche comme les aides qu'il peut solliciter dans l'environnement dans lequel il progresse.

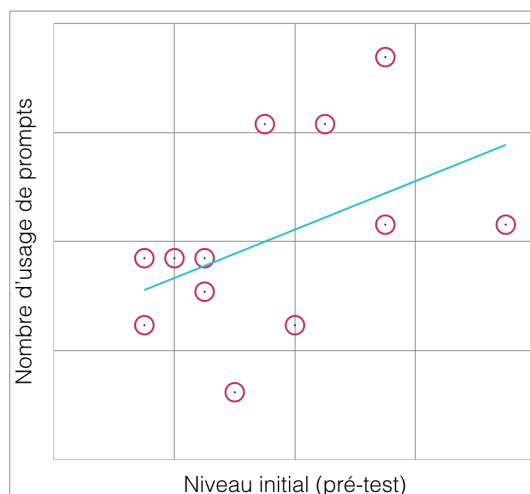


Figure 4 • Corrélation entre le nombre d'usage de *prompts* et le niveau initial des apprenants

Tableau 6 • Fréquence d'usage des *prompts*

	Navigation (N = 17)	Métacognitif (N = 5)	Cognitif (N = 6)
Moyenne (%)	58,82	51,67	66,67
Coefficient de variation (%)	17,58	38,56	28,20

Quand on s'intéresse enfin à l'usage du type d'aides (navigation, métacognitive et cognitive), nous remarquons à la lecture du tableau 6 que ce sont les aides métacognitives (51,67 %) qui sont les moins sollicitées

alors que les aides cognitives le sont le plus par les apprenants (66,67 %). Le tableau fait également ressortir que la variabilité d'usage est plus élevée pour les aides métacognitives (CV = 38,56 %) et plus réduite pour les aides relatives à la navigation (CV = 17,58 %).

Complémentairement à cette observation, nous pouvons nous questionner sur le lien entre leur usage et la performance des apprenants (en cours de processus et au terme de l'apprentissage). L'examen du tableau 7 laisse apparaître des liens positifs entre l'utilisation des *prompts* « cognitifs » et la performance des apprenants (significatifs pour la performance au terme de l'apprentissage et à la limite de la significativité pour la performance en cours d'apprentissage). Nous n'observons pas ces corrélations concernant les aides à la navigation et les aides métacognitives. L'examen conjoint des tableaux 6 et 7 indique également que la relation entre la performance et l'usage est la plus étroite quand l'usage de la ressource est important (66,67 % pour les QR cognitifs).

Tableau 7 • Liens entre la performance et l'usage des *prompts*

Usages des <i>prompts</i>	Performance en cours d'apprentissage	Performance au terme de l'apprentissage
Navigation	r = - .238 p = .455	r = - .135 p = .675
Métacognitif	r = - .003 p = .993	r = .045 p = .888
Cognitif	r = .515 p = .087	r = .693 p = .012

Dans notre contexte, la plus-value de l'aide par QR code semble donc passer par la mise à disposition de relances centrées sur le traitement de l'information. Cela rejoint les observations de Demaizière (2007) qui insiste sur le fait de programmer les aides numériques en lien avec les objectifs à atteindre, les compétences à maîtriser et les prérequis des apprenants.

6. Discussion des résultats et perspectives

Plusieurs résultats intéressants ressortent de notre étude. Tout d'abord, nous pouvons mettre en avant l'effet positif de l'intégration et de l'usage des *prompts* via les QR codes sur la qualité de l'apprentissage. Notre étude permet de mettre en évidence que la recherche et le traitement de l'information peuvent être facilités dans un manuel d'histoire par l'insertion de relances permettant de guider le processus d'apprentissage et de favoriser la régulation de celui-ci. Cet impact positif se traduit par une meilleure qualité d'apprentissage et par un plus grand partage de compétences entre

les élèves dans la mesure où nous observons une baisse de la variabilité des scores entre le pré-test et le post-test. Pour expliquer ce bénéfice, on peut penser que l'apport des *prompts* entraîne une meilleure contrôlabilité de la tâche et donne la possibilité aux apprenants de s'engager de manière plus approfondie dans la tâche d'apprentissage. Nos observations sont cohérentes avec un certain nombre d'études réalisées dans d'autres contextes qui montrent l'apport bénéfique de l'aide via ce support (Bal et Bicen, 2016 ; Ozcelik et Acartuk, 2011). Elle confirme la pertinence de leur intégration en particulier dans le cas de tâches d'exploration et de recherche en autonomie.

Nos analyses corrélationnelles croisant le niveau de performance et le type de QR codes sollicités laissent apparaître que ce sont en particulier les aides de nature cognitive centrée directement sur la réalisation de la tâche qui semblent directement bénéfiques aux élèves. Cette observation concorde avec les résultats de Lehmann, Hähnlein et Ifenthaler (2014) qui montrent que l'aide est d'autant plus efficace qu'elle se révèle spécifique pour l'apprenant.

Si nous observons en termes d'usages que les élèves utilisent les relances proposées par les QR codes, l'activation de celles-ci paraît plutôt liée au degré de complexité de la tâche. Elle peut également être associée au niveau initial des apprenants, dans la mesure où nous observons que ce sont les élèves les plus avancés au départ qui sollicitent davantage l'aide. En termes de différenciation pédagogique, on peut avancer l'idée que le tutorat humain est probablement plus pertinent pour les élèves ayant un niveau moins avancé par le fait que cette aide est davantage en mesure de s'adapter sur mesure à leurs besoins (De Lièvre *et al.*, 2006) et que dans notre cas elle peut inhiber un phénomène de surcharge cognitive lié au partage attentionnel (Chanquoy, Tricot et Sweller, 2007).

D'un point de vue pragmatique, ce type d'usage donne la possibilité aux enseignants, aux concepteurs pédagogiques de développer de manière peu coûteuse des ressources complémentaires au matériel pédagogique existant. Il leur permet d'adapter celles-ci en fonction du niveau des apprenants et de la modalité pédagogique qu'ils privilégient pour réaliser l'apprentissage. Le QR code nous semble particulièrement utile pour dévoiler des informations de type relance en fonction des besoins d'étayage de l'apprenant dans son environnement. Au niveau de l'utilisabilité, cela évite de surcharger le document d'informations qui peuvent

être considérées comme inutiles par les apprenants s'ils sont en mesure de réaliser les tâches proposées.

En termes de perspectives, il nous semble important de poursuivre les études autour de l'intégration de ce type d'outils d'aide à l'apprentissage. Dans la mesure où ils contribuent à la progression des apprenants, nous souhaitons évaluer plus spécifiquement les conditions pédagogiques d'intégration (modalités des consignes, de présentations...) de ces supports dans différents contextes de formation. Nous pensons en particulier à l'évaluation de relances audio permettant d'éviter une saturation de la mémoire visuelle des apprenants (Mayer, 2009).

RÉFÉRENCES

Ali, N., Santos, I. et Areepattamannil, S. (2017). Pre-service teachers' perception of quick response code integration in classroom activities. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 16(1), 93-100.

Amadiou, F. et Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique*. Paris, France : Retz.

Azevedo, R. et Cromley, J. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate students' learning with hypermedia? *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 523-535.

Bal, E. et Bicen, B. (2016). Computer hardware course application through augmented reality and QR code integration: achievement levels and views of students. *Procedia Computer Science*, 102, 267-272.

Bloom, B.S. (1979). *Caractéristiques individuelles et apprentissages scolaires*. Bruxelles, Belgique : Labor.

Chanquoy, L., Tricot, A. et Sweller, J. (2007). *La charge cognitive*. Paris, France : Armand Colin.

Chen, N.S., Teng, D.C.E. et Lee, C.H. (2011). Augmenting paper-based reading activity with direct access to digital materials and scaffolded questioning. *Computers et Education*, 57(2), 1705-1715.

Conderman, G. et Hedin, L. (2010). Cue Cards: A self-regulatory strategy for students with learning disabilities. *Intervention in school and clinic*. 46(23), 165-173.

Cosnefroy, L. (2012). Autonomie et formation à distance. *Recherche et formation*, 69, 111-118.

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.

Demaizière, F. (2007). Didactique des langues et TIC : les aides à l'apprentissage. *Alsic*, 10(1), 5-21.

Durak, G., Ozkeskin, E. et Ataizi, M. (2016). QR codes in education et communication. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 17(2), 42-58.

**Gaëtan TEMPERMAN, Stéphanie MONTAGNE,
Bruno DE LIÈVRE, Karim BOUMAZGUIDA**

Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Oxon, Royaume Uni : Routledge.

Hattie, J. et Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.

Kirschner, P.A., Sweller, J. et Clarck, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.

Lehmann, T., Hähnlein, I. et Ifenthaler, D. (2014). Cognitive, metacognitive et motivationnelles perspectives on reflection in self-regulated online. *Computers in Human Behaviour*, 32, 313-323.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2e ed.). New York, NY : Cambridge University Press.

McCabe, M. et Tedesco, S. (2012). Using QR Codes and mobile devices to foster a learning environment for mathematics education. *International Journal of Technology Inclusive and Inclusive Education*, 1(6), 37-43.

Ozcelik, E. et Acarturk, C. (2011). Reducing the spatial distance between printed and online information sources by means of mobile technology enhances learning: Using 2D barcodes. *Computers et Education*, 57(3), 2077-2085.

Rasul, M., Rauf, R. et Affandi, A. (2017). Using QR Code in a green technology module to foster motivation and independent learning. *International Journal Innovation and Learning*, 22(2), 177-197.

Rikala, J. et Kankaanranta, M. (2012). The use of quick response codes in the classroom. Dans *Proceedings of the 11th Conference on Mobile and Contextual Learning* (p. 148-155).

Sardin, B., Grouille, D. et Terrier, G. (2013). Le QR code : une technologie d'avenir pour faciliter l'accès aux ressources didactiques et documentaires, *Pédagogie médicale*, 14(2), 133-137.

Syndicat national de l'édition (2017). Repères statistiques, France et International, synthèse 2016-2017. Récupéré de : https://www.sne.fr/app/uploads/2017/06/SNE_2017_Synth%C3%A8se-Statistiques_Chiffres2016.pdf

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). Récupéré de : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01005304/document>.

Temperman, G., Walgraeve, S., De Lièvre, B. et Boumazguida, K. (2017). Développer des compétences de conceptualisation et d'analyse avec un forum de discussion et un etherpad. *Revue STICEF*, 24(1), 1-31.

Vieux, M. (2012). Retour d'expérience sur un jeu pédagogique utilisant des QR Codes. Dans R. Nkambou et S. Cerri (dir.), *Actes du colloque TICE 2012* (p. 255-259).



Étude du comportement des apprenants dans les travaux pratiques et de sa corrélation avec la performance académique

► **Rémi VENANT** (IRIT, Université Toulouse 3 Paul Sabatier), **Kshitij SHARMA** (EPFL, Lausanne), **Philippe VIDAL** (IRIT, Université Toulouse 3 Paul Sabatier), **Pierre DILLENBOURG** (EPFL, Lausanne), **Julien BROISIN** (IRIT, Université Toulouse 3 Paul Sabatier)

■ **RÉSUMÉ** • Cette étude analyse le comportement des apprenants au sein de laboratoires distants afin d'identifier de nouveaux facteurs de prédiction du succès de l'apprentissage. À partir d'une fouille de motifs séquentiels d'actions, nous définissons des stratégies d'apprentissage, indicateurs de plus haut niveau d'abstraction. Certaines sont corrélées à la performance académique des apprenants, comme la construction d'une action étape par étape, plus fréquemment appliquée par les étudiants de plus haut niveau de performance. Tandis que notre proposition peut s'appliquer à d'autres contextes, nos résultats nous ont permis d'implanter de nouveaux outils de suivi et de guidage dans notre environnement.

■ **MOTS-CLÉS** • *Learning analytics*, étude comportementale, laboratoires distants, stratégies d'apprentissage, apprentissage de l'informatique-

■ **ABSTRACT** • *This study analyzes students' behavior in a remote laboratory environment to identify new factors of prediction of learning success. Based on a sequential pattern mining of actions, we define learning strategies as indicators of higher level of abstraction. Results show that some of them are correlated to learners' academic performance, such as the construction of a complex action step by step, more often applied by learners of a higher level of performance. While our proposals are domain-independent and can apply to other learning contexts, the results of this study then led us to instrument new visualization and guiding tools in our remote lab environment.*

■ **KEYWORDS** • *Learning analytics, behavioral study, remote laboratories, learning strategies, computer science education*

1. Introduction

La recherche sur la prédiction du succès de l'apprentissage est au cœur de nombreuses études depuis plusieurs dizaines d'années (Blikstein, 2011 ; Bunderson et Christensen, 1995 ; Vihavainen, 2013 ; Workman, 2004). La prédiction de la performance s'appuie traditionnellement sur la collecte de données à partir de pré-tests, de questionnaires, des résultats académiques antérieurs, voire d'informations telles que les styles d'apprentissage, l'efficacité (Wilson et Shrock, 2001) ou encore les attentes de l'apprenant envers le cours (Rountree *et al.*, 2004). Cependant, le développement des TICE, l'émergence de la fouille de données d'apprentissage, et l'analyse de ces dernières offrent de nouvelles possibilités pour explorer le comportement des apprenants en situation d'apprentissage et étudier son influence sur leur performance.

Les laboratoires virtuels et distants (*Virtual and Remote Laboratories*, VRL) sont des environnements d'apprentissage dédiés à l'apprentissage exploratoire, appliqué dans des activités pratiques médiatisées par l'Informatique. Dans les EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) pour les VRL, les apprenants développent des compétences liées à la démarche scientifique à travers leurs interactions avec les dispositifs distants physiques ou simulés, mais également des compétences de travail en équipe par les interactions qu'ils ont entre eux ou avec les enseignants. Par le suivi de ces interactions, ces EIAH permettent d'explorer les comportements des apprenants à un niveau de détail élevé, et peuvent donc offrir une meilleure compréhension du processus d'apprentissage qu'ils mettent en œuvre. Si l'étude de leurs actions à travers différentes mesures d'activité est une première approche, l'analyse de motifs séquentiels peut fournir une autre compréhension de leurs comportements (Aleven, McLaren, Roll et Koedinger, 2006). La fouille de motifs séquentiels pour identifier les processus d'apprentissage des apprenants est donc à considérer (Agrawal et Srikant, 1995).

Pour étudier les liens potentiels entre les comportements des apprenants et leur performance, nous avons conduit une expérimentation en contexte d'apprentissage réel, sur 107 étudiants inscrits dans un cours d'administration des systèmes et réseaux du DUT (Diplôme Universitaire Technologique) Informatique de l'Université de Toulouse III. Nous explorons dans cet article les interactions entre les apprenants et les dispositifs distants qu'ils manipulent (*i.e.* des machines virtuelles) pour analyser les corrélations potentielles entre la performance de ces apprenants et des

indicateurs quantitatifs d'une part, et des motifs séquentiels d'action d'autre part. Notre objectif est d'identifier, pour une session de TP, des motifs comportementaux qui reflètent une meilleure réalisation des objectifs d'apprentissage, afin de prédire la performance académique des étudiants et de guider ces derniers dans la complétion de leurs tâches.

La section suivante introduit notre contexte d'enseignement et Lab4CE, notre environnement de VRL pour l'apprentissage de l'Informatique, en détaillant son modèle de collecte de données sur lequel nous appuyons pour cette étude. Une troisième section présente le protocole expérimental ainsi que le jeu de données exploité dans notre analyse, avant de définir la mesure de la performance dans notre contexte. Après une première analyse effectuée sur des indicateurs numériques tels que le nombre d'actions réalisées par apprenant ou le temps écoulé entre deux actions, la cinquième section propose une approche différente: en réalisant une fouille de motifs, nous détectons plusieurs séquences d'actions représentatives du niveau de performance des apprenants. Ces séquences permettent alors de forger des indicateurs comportementaux de plus haut niveau d'abstraction, assimilés à des stratégies d'apprentissage et corrélés avec la réussite des apprenants. Dans une discussion, nous présentons les évolutions apportées à Lab4CE suite aux résultats de notre étude et positionnons notre approche par rapport aux travaux existants dans ce domaine.

2. Lab4CE, un environnement pour l'apprentissage pratique de l'Informatique

2.1. Contexte d'enseignement

Une partie du programme du DUT Informatique est dédiée à l'apprentissage de l'administration des systèmes et réseaux (ASR). Dans ces enseignements où la pratique est mise en avant, les étudiants doivent acquérir un ensemble de connaissances théoriques liées aux systèmes de gestion de fichiers, processus et gestion des contrôles d'accès, ainsi que différents savoir-faire inhérents à la maîtrise des commandes qu'offre un système d'exploitation. À l'IUT (Institut Universitaire Technologique), les travaux pratiques représentent une part importante des enseignements au sein desquels les étudiants peuvent confronter leur compréhension des concepts à la réalité d'une infrastructure informatique, et s'exercer à la configuration et l'administration de ses différents composants.

Les laboratoires physiques mis à disposition à l'Université souffrent de problèmes connus (Corter, Nickerson, Esche et Chassapis, 2004 ; Ma et Nickerson, 2006) : un nombre insuffisant de machines, avec des périodes d'accès restreintes. Par exemple, l'IUT n'est pas en mesure de fournir un poste par étudiant à chaque TP. De plus, l'apprentissage de l'ASR soulève d'autres problèmes. Un grand nombre de manipulations exige les droits d'accès complets sur la machine, donnés habituellement à l'utilisateur « administrateur » (sur les systèmes Microsoft© Windows©) ou « root » (sur les systèmes Unix/Linux), par exemple pour installer un logiciel ou configurer une carte réseau ; ce rôle ne peut trivialement être donné aux apprenants sur les machines physiques de l'institut. De plus, l'apprentissage pratique des réseaux n'a d'intérêt que si les étudiants sont amenés à travailler avec un réseau de ressources, c'est-à-dire un ensemble d'ordinateurs et d'équipements d'interconnexion. Or doter chaque apprenant de plusieurs machines est inenvisageable d'un point de vue logistique et économique. Face à ces problèmes, les VRL représentent une solution intéressante tout en bénéficiant des augmentations pédagogiques offertes par les EIAH. Nous avons ainsi conçu Lab4CE, un VRL dédié à l'apprentissage de l'Informatique.

2.2. Vue générale de Lab4CE

Lab4CE, acronyme de « *Laboratory for Computer Education* », est une plateforme web s'appuyant sur un gestionnaire de *cloud* pour déployer, à la demande, des laboratoires informatiques virtuels et munie d'un ensemble de fonctionnalités support à l'apprentissage (Broisin, Venant et Vidal, 2017). Cet environnement a été conçu notamment pour s'affranchir des limites spatiales et temporelles, ainsi que des restrictions d'accès aux ressources informatiques mentionnées plus haut. La plateforme permet de fournir à chaque apprenant un ensemble d'équipements virtuels accessibles en tout lieu, à tout moment, sans limite d'utilisation : les étudiants sont administrateurs de leurs équipements.

Dans Lab4CE, les instructeurs peuvent concevoir un TP en définissant une infrastructure composée de machines et d'équipements d'interconnexion. Lorsqu'un apprenant se connecte pour une activité particulière et accède pour la première fois à son laboratoire (figure 1), le système crée et configure automatiquement l'ensemble des ressources propres à l'étudiant. Celui-ci peut alors manipuler les machines (*i.e.* les démarrer, les mettre en veille ou les arrêter, voir (1) sur la figure 1) et interagir avec celles-ci via leurs terminaux embarqués dans l'interface web (2), similaires

à un terminal traditionnel. L'environnement propose des fonctionnalités dédiées à l'apprentissage. Plusieurs salons de discussion instantanée (3) permettent aux apprenants de communiquer de façon synchrone. Un support au travail collaboratif leur permet de s'inviter à partir du menu des utilisateurs connectés (4), puis de travailler ensemble sur la même machine virtuelle et voir ce que font les autres. Des outils d'*awareness* (5) permettent de comparer les actions que les étudiants réalisent à celles de leurs pairs. Un outil de gestion de l'entraide (6) leur permet également de demander de l'aide et d'y répondre, en offrant à l'aidant un accès en lecture aux terminaux de l'aidé et à son salon de discussion privé (Venant, Vidal et Broisin, 2016). Enfin, des applications d'analyse et de *replay* de sessions de travail sont également disponibles dans la plateforme. Pour l'expérimentation, toutes les fonctionnalités étaient accessibles, à l'exception de la fonctionnalité d'entraide.

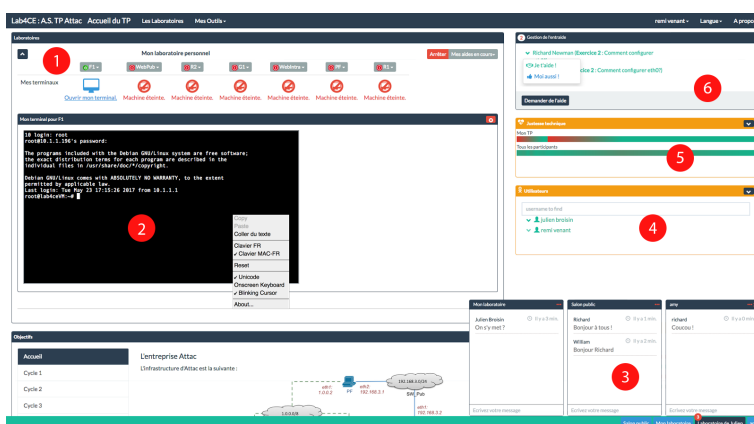


Figure 1 • Interface d'expérimentation de Lab4CE

Pour assurer ces différentes fonctionnalités, Lab4CE s'appuie sur un *framework* de collecte et d'analyse de données qui permet, à partir des interactions de l'apprenant avec le système, de forger différentes traces d'apprentissage et de les enrichir à la volée par le calcul d'indicateurs définis par l'enseignant ou le concepteur pédagogique.

2.3. Framework et workflow d'analyse de données

La plupart des interactions de l'utilisateur avec Lab4CE sont collectées: les connexions au système, les messages instantanés, les demandes d'aide, les actions sur les laboratoires et les ressources, et la

navigation entre les différentes interfaces de la plateforme. Concernant les interactions entre les utilisateurs et les terminaux des machines, chaque entrée dans le terminal est tracée, qu'elle provienne de l'utilisateur lorsqu'il écrit sur son clavier ou de la machine lorsque celle-ci répond.

Le *framework* illustré par la figure 2 a pour objectif la génération et le stockage d'enregistrements xAPI, ainsi que leur enrichissement par l'inférence d'indicateurs (Venant *et al.*, 2016). Il s'inspire d'infrastructures existantes telles que celles proposées dans le projet Migen (Gutierrez-Santos, Mavrikis et Magoulas, 2010) ou dans l'approche flexible et extensible de Hecking *et al.* (2014). Cependant, à la différence de ces approches, notre architecture réside essentiellement côté client (*i.e.* dans le navigateur web de l'utilisateur), afin de bénéficier du potentiel de calcul distribué sur les postes clients connectés à la plateforme.

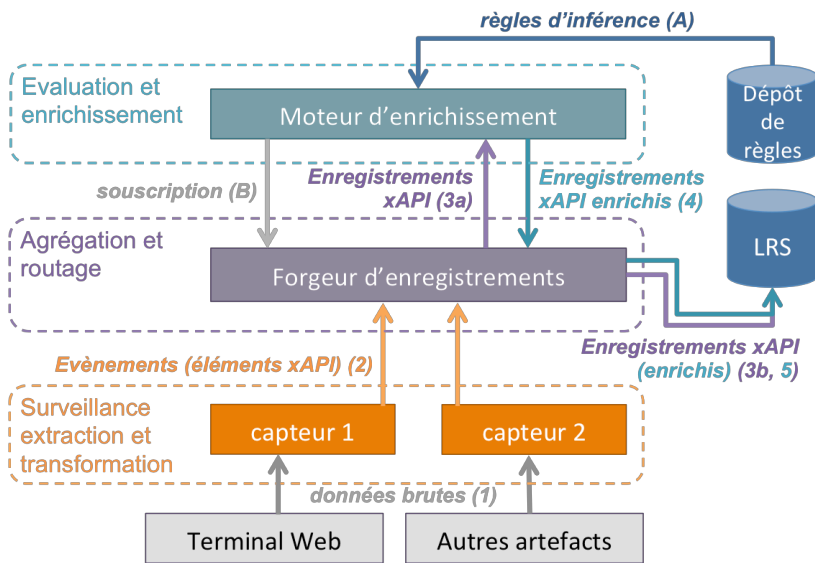


Figure 2 • Framework de traces

Notre proposition inclut trois couches de composants faiblement couplés côté client, ainsi que deux dépôts côté serveur. Les capteurs surveillent les flux de données sur des composants spécifiques de Lab4CE (voir (1) sur la figure 2), génèrent des éléments xAPI et les envoient au forgeur d'enregistrements sous forme d'événements (2). Le forgeur agrège les différents éléments en enregistrements xAPI, qui sont alors routés soit au moteur d'enrichissement (3a), soit directement au dépôt de traces (3b).

Après une phase initiale où le moteur d'enrichissement souscrit au forgeur (B) pour recevoir les enregistrements qu'il peut enrichir d'après les règles décrites dans le dépôt de règles (A), il infère et ajoute à chaque enregistrement un ou plusieurs indicateurs, puis les renvoie au forgeur (4) avant leur stockage dans le LRS (5).

Les interactions entre les apprenants et leurs machines, sujet de cet article, reposent essentiellement sur les instructions Shell exécutées par ceux-ci via le terminal. Elles sont constituées d'une commande et, le cas échéant, d'options et d'arguments, que nous nommons indifféremment dans cet article par le terme « argument » : par exemple, `ls -a -l` est l'exécution constituée de la commande `ls` et des arguments `-a` et `-l`. À l'issue de son exécution, la machine peut retourner une réponse textuelle : par exemple, pour l'instruction `ls -a -l`, la réponse correspond à la liste détaillée de tous les fichiers et répertoires du répertoire courant.

Ainsi, lorsqu'un étudiant interagit avec un terminal d'une machine, le *framework* capture chaque caractère qui apparaît au sein du terminal (*i.e.* les caractères saisis par l'apprenant, et ceux retournés par la machine). Le moteur est capable de reconstituer les instructions exécutées, en distinguant la commande de ses arguments et de sa réponse. Grâce au moteur d'inférence, un ensemble de règles permettent de qualifier la *justesse technique* d'une commande à partir des informations précédentes, c'est-à-dire de calculer une valeur booléenne indiquant si l'instruction a été exécutée sans erreur par la machine (Venant *et al.*, 2016). Pour valider le calcul de notre indicateur, nous avons manuellement évalué la justesse technique d'un échantillon de 300 commandes produites par les étudiants. Sur la base de cet échantillon, 298 commandes furent évaluées de façon identique par le moteur, soit dans 99,3 % des cas. Un enregistrement xAPI d'une commande comprend donc : (i) l'horodatage, (ii) l'identité de l'apprenant, (iii) l'identifiant du laboratoire, (iv) celui de la machine, (v) le nom de la commande, (vi) ses arguments, (vii) la réponse de la machine suite à l'exécution de la commande, et (viii) la justesse technique de la commande.

3. Étude du comportement en situation d'apprentissage pratique

L'expérimentation a été conduite au département Informatique de l'UT A, Université Toulouse III Paul Sabatier. Pendant la totalité de l'expérimentation, les apprenants ont utilisé Lab4CE pour réaliser les tâches pratiques qui leur étaient demandées.

3.1. Protocole expérimental et scénario d'apprentissage

Nous avons mené l'expérimentation pendant un cours d'introduction aux commandes et à la programmation Shell, avec 107 étudiants de première année, dont la répartition en genre reflétait celle de l'IUT. Ces étudiants étaient issus pour la majorité d'entre eux du lycée, où l'enseignement de l'Informatique était encore largement minoritaire. D'autre part, comme l'expérimentation a été réalisée au début du cours, les apprenants sont donc considérés dans cette étude comme débutants en Informatique

L'infrastructure sous Lab4CE était composée d'une machine virtuelle par étudiant, accessible pendant les 3 semaines; cette machine était suffisante pour accomplir les tâches d'apprentissage. Chaque semaine, une session pratique en présentiel de 90 minutes était dispensée. Les trois semaines de cours visaient 3 objectifs pédagogiques principaux: la compréhension de commandes Shell, la maîtrise du système de gestion de fichiers de Linux par l'exploitation de ces commandes, et quelques concepts fondamentaux de la programmation Shell. Pour chaque session, les apprenants devaient réaliser une liste de tâches propres à la découverte de nouvelles commandes. Ils devaient tout d'abord comprendre par eux-mêmes ce que font ces commandes, comment les manipuler (*i.e.* quels arguments doivent/peuvent être utilisés), puis les utiliser pour réussir les tâches demandées. Pour la dernière session, les apprenants devaient réutiliser l'ensemble des commandes apprises pour réaliser des scripts Shell simples, constitués de différentes instructions Shell manipulées au sein de structures conditionnelles et itératives. Pour réaliser ce dernier objectif, les apprenants devaient exploiter des compétences acquises auparavant, pendant un cours d'introduction à l'algorithme.

3.2. Données expérimentales

Une fois les valeurs extrêmes retirées, le jeu de données comprend $N = 85$ sujets qui ont soumis un total de 9183 commandes. La moyenne des commandes par apprenant est de $\mu = 108,00$ avec un écart-type $\sigma = 66,62$; la valeur élevée de l'écart-type peut s'expliquer, d'une part, par la nature exploratoire de l'apprentissage qui engendre de fortes variations de l'engagement des apprenants dans ce type d'activité et, d'autre part, par l'utilisation de la plate-forme par certains apprenants en dehors des sessions pratiques en présentiel. Le nombre minimum de commandes soumises par un apprenant est de 22, tandis que le maximum est de 288.

3.3. Mesure de la performance académique

La variable dépendante définie pour cette étude est le score obtenu par les apprenants à l'examen académique passé à l'issue des expérimentations, noté *assessment score* (AS), correspondant à une valeur réelle comprise entre 0 et 20. En outre, la distribution normale de l'AS pour l'expérimentation laisse apparaître trois catégories qualitatives : bas (noté B, $0 \leq B \leq 6,7$; effectif $N = 22$), moyen ($6,7 < M \leq 10,5$; $N = 27$) et haut ($H > 10,5$; $N = 36$).

Par la suite, les différentes variables indépendantes sont évaluées aussi bien sur l'AS que sur les catégories d'AS (AScat). La section suivante définit des indicateurs numériques comme variables indépendantes et investigate leur corrélation avec les deux variables présentées ci-dessus (AS et AScat).

4. Analyse des indicateurs numériques

Nous étudions dans un premier temps, pour chaque apprenant, quatre indicateurs numériques :

- (1) le nombre de commandes soumises *#soumissions*;
- (2) le pourcentage de commandes techniquement justes (*i.e.* exécutées sans erreur) *%succès*;
- (3) le temps moyen écoulé entre deux commandes d'une même session de travail *Δ temps*;
- (4) le nombre de commandes relatives à une recherche d'aide *#aides*.

Les trois premiers peuvent être trouvés dans d'autres travaux (Vihavainen, 2013 ; Watson, Li et Godwin, 2013), ils permettent de quantifier la production des apprenants. Le dernier indicateur identifie les accès à l'aide, c'est-à-dire au manuel décrivant l'utilisation des commandes à maîtriser. Bien qu'il puisse être difficile de le calculer dans d'autres contextes (*i.e.* lorsque les ressources d'aide résident en dehors de l'EIAH), l'indicateur *#aides* est calculé dans cette expérimentation à partir de motifs connus tels que la commande *man*, qui fournit le manuel d'une commande, ou encore les arguments *-help* et *-h* qui permettent d'en obtenir un résumé. Le tableau 1 expose le coefficient de corrélation de Pearson entre les quatre indicateurs définis ci-dessus et l'AS¹.

¹ r : coefficient de corrélation, valeur réelle entre -1 et 1 (0 signifie une absence de corrélation entre les deux variables, -1 / 1 une corrélation négative/positive forte). La valeur-p exprime la probabilité, sous l'hypothèse nulle, d'obtenir un résultat au moins aussi « extrême » que celui

Tableau 1 • Corrélation entre indicateurs numériques et AS

Indicateur	r	Valeur-p
#soumissions	0,193	0,076
%succès	0,248	0,022
Δ temps	-0,127	0,247
#aides	0,226	0,037

Les indicateurs *#soumissions* et *Δ temps* ne semblent pas corrélés avec l'AS, la valeur-p pour les deux indicateurs étant supérieure à 0,05. De plus, même si *%succès* et *#aides* présentent une corrélation faible significative avec l'AS, ils ne reflètent que grossièrement le comportement des étudiants pendant l'apprentissage pratique : *%succès* est un indicateur de production qui ne prend pas en compte la progression des apprenants dans leur apprentissage (*i.e.* la complexité des commandes exécutées), tandis que *#aides* ne reflète pas la raison pour laquelle les étudiants accèdent aux aides (*i.e.* après un échec, avant de tester une commande, etc.).

Ces indicateurs quantitatifs permettent de mettre en avant le fait que l'engagement des apprenants, défini en termes de nombre d'actions exécutées sur les ressources manipulées, n'est pas suffisant pour établir une corrélation significative avec leur performance académique. Ainsi, pour aller plus loin dans l'analyse du comportement des apprenants, nous explorons dans la section suivante comment ils ont réalisé leur TP en termes de séquences de commandes.

5. Analyse des motifs séquentiels d'actions

Nous avons appliqué une analyse de fouille de motifs séquentiels sur notre jeu de données, afin d'identifier des motifs répétitifs et significatifs d'actions menées par les apprenants pendant des TP et pour analyser si ces séquences sont liées aux deux variables dépendantes AS et AScat.

5.1. Nature des actions

Tout d'abord, nous proposons de définir une approche de fouille de motifs qui ne soit pas restreinte à notre contexte d'apprentissage. Afin de s'abstraire du contexte d'apprentissage du Shell, notre approche s'appuie sur l'analyse non pas des instructions elles-mêmes, mais de leur nature et

observé. Nous considérons ici qu'une valeur-p inférieure à 0.05 implique un résultat statistique significatif (*i.e.* la présomption contre l'hypothèse nulle est suffisante pour que celle-ci soit rejetée).

du résultat de leur exécution. Nous définissons ainsi une action soumise par un apprenant sur une ressource par son *type*, ses *paramètres* et sa *nature*. Le type et les paramètres dépendent du contexte : par exemple, « mettre sous une tension de 12V un circuit RLC » est une action en électronique sur une ressource « circuit RLC » de type « mettre sous tension » et de paramètre « 12V ». Dans notre contexte, le type est le nom de la commande et les paramètres ses arguments. La *nature*, enfin, donne une information sémantique sur l'action, à travers sa relation avec celle qui a été exécutée précédemment.

Nous avons défini huit *natures* d'action exclusives : *Sub_S*, *Sub_F*, *ReSub_S*, *ReSub_F*, *VarSub_S*, *VarSub_F*, *Help* et *NewHelp*. Les *natures Sub_** s'appliquent à une action dont le type est différent de la précédente, et qui est évaluée comme techniquement juste (*Sub_S*) ou fautive (*Sub_F*). Les *natures ReSub_** désignent une action identique à la précédente (*i.e.* même type et paramètres), alors que les *natures VarSub_** représentent une soumission de même type que la précédente mais dont les paramètres varient. Enfin, *Help* qualifie une action d'accès à une aide relative au type de l'action précédente, tandis que *NewHelp* indique l'accès à une aide sans lien avec l'action précédente. Par exemple, si la commande de référence est *ls -al*, la commande suivante *rm* sera de nature *Sub_F* (commande différente et techniquement fautive car *rm* nécessite au moins un argument), *ls -al* de nature *ReSub_S*, *ls -alRu* sera associée à *VarSub_S* tandis que *man ls* sera qualifiée par *Help*, et *man rm* par *NewHelp*.

Le haut niveau d'abstraction de ces *natures* d'action permet la fouille de données issues de VRL hétérogènes, et donc une réutilisation dans différents contextes de notre approche fondée sur l'analyse séquentielle d'actions. En effet, quel que soit le domaine d'apprentissage du VRL, l'EIAH associé propose de manière systématique des fonctionnalités permettant aux apprenants de valider la soumission d'actions sur les dispositifs virtuels ou physiques, et ainsi de progresser vers l'atteinte des objectifs d'apprentissage. La difficulté réside ici dans la capacité à pouvoir tracer les actions à un niveau de détail suffisamment élevé pour retrouver la valeur des paramètres qui sont associés aux actions ; l'acquisition de ces traces est facilitée dans les EIAH qui ont été spécifiquement conçus pour le VRL, mais elle peut s'avérer beaucoup plus délicate dans les EIAH s'appuyant sur des environnements virtuels complexes (Richter, Boehringer et Jeschke, 2011), des standards tels que SCORM, qui limitent considérablement les informations collectées (San Cristobal *et al.*, 2010), ou des protocoles réseau tels que VNC offrant l'accès à des bureaux à distance

(Leproux, Barataud, Bailly et Nieto, 2013 ; Lowe, Berry, Murray et Lindsay, 2009). D'autre part, concernant les *natures* relatives à l'accès à une aide, les VRL disposent souvent de leurs propres ressources d'assistance auxquelles l'accès peut être facilement détecté (Orduna, Almeida, Lopez-de-Ipina et Garcia-Zubia, 2014). Le travail à réaliser, pour réutiliser notre approche d'analyse dans un contexte d'apprentissage particulier, consiste donc essentiellement à distinguer les actions ayant un impact sur les dispositifs manipulés de celles correspondant à une recherche d'assistance pour interagir avec ces dispositifs.

5.2. Motifs séquentiels d'actions

Les motifs significatifs ont été identifiés à partir de séquences d'actions de longueur 2 et 3, aucune séquence de longueur supérieure n'apparaissant chez suffisamment d'étudiants pour être exploitée. Les tests statistiques appliqués pour chaque séquence furent une analyse de la variance (*i.e.* *one-way* ANOVA) avec les catégories de performance AScat établies dans la section 3.3 et un test de corrélation de Pearson avec AS.

Les motifs présentés dans le tableau 2 sont ceux pour lesquels la valeur-p est inférieure à 0.05 dans au moins un des deux tests. Aussi, la colonne « tendance d'usage » reflète une relation d'ordre sur le nombre d'occurrences d'un motif entre les catégories d'étudiants, avec sa significativité donnée dans la colonne « valeur-p ANOVA ». Par exemple, les étudiants de haut niveau de performance (catégorie H), tout comme ceux de niveau moyen (M), ont appliqué le motif #2 plus souvent que les étudiants de faible niveau (B). En revanche, il n'existe pas de relation d'ordre significative entre les catégories de performance H et M pour ce motif.

Nous avons obtenu 13 motifs significatifs. La plupart de ces motifs présente une tendance d'usage significative entre les groupes de performance, ainsi qu'une corrélation significative faible (*i.e.* $0.1 < |r| < 0.3$) ou moyenne (*i.e.* $0.3 < |r| < 0.5$) avec l'AS. À titre d'exemple, la distribution du motif #1 est illustrée par la figure 3, qui fait apparaître une tendance d'usage significative chez le groupe de haut niveau de performance.

Il apparaît que la plupart de ces motifs sont utilisés plus fréquemment par des étudiants de haut ou moyen niveaux de performance que par ceux de faible niveau, et qu'ils sont positivement corrélés avec la performance académique (AS). Seul un motif d'action, le motif #12, est utilisé plus souvent par des étudiants du groupe B que par les autres ; dans ce

motif, les étudiants soumettent successivement avec échec une action en modifiant ses paramètres au fur et à mesure, jusqu'à ce que l'action réussisse. De plus, aucun motif ne permet de distinguer clairement les étudiants de haut niveau de ceux de niveau moyen de performance.

Tableau 2 • Analyse des motifs séquentiels d'actions

#	Motif	Tendance d'usage	Valeur-p ANOVA	Coef. corr.	Valeur-p corr.
1	Sub_S, VarSub_S	H, M > B	< 0,001	0,335	0,002
2	Help, ReSub_S	H, M > B	0,003	0,293	0,006
3	VarSub_S, NewHelp	H, M > B	0,007	0,210	0,053
4	VarSub_S, Sub_S	H, M > B	0,021	0,264	0,014
5	ReSub_S, NewHelp	H, M > B	0,026	0,361	< 0,001
6	VarSub_S, VarSub_S	H, M > B	0,031	0,203	0,062
7	Sub_S, VarSub_S, VarSub_S	H, M > B	0,002	0,286	0,008
8	VarSub_S, VarSub_S, Sub_S	H, M > B	0,003	0,294	0,006
9	Sub_S, VarSub_S, NewHelp	H, M > B	0,007	0,250	0,020
10	NewHelp, Sub_S, VarSub_S	H, M > B	0,009	0,243	0,025
11	Sub_S, ReSub_S, NewHelp	H, M > B	0,020	0,335	0,002
12	Sub_F, VarSub_F, VarSub_S	B > H, M	0,021	-0,217	0,046
13	Sub_S, NewHelp, ReSub_S	H, M > B	0,047	0,244	0,024

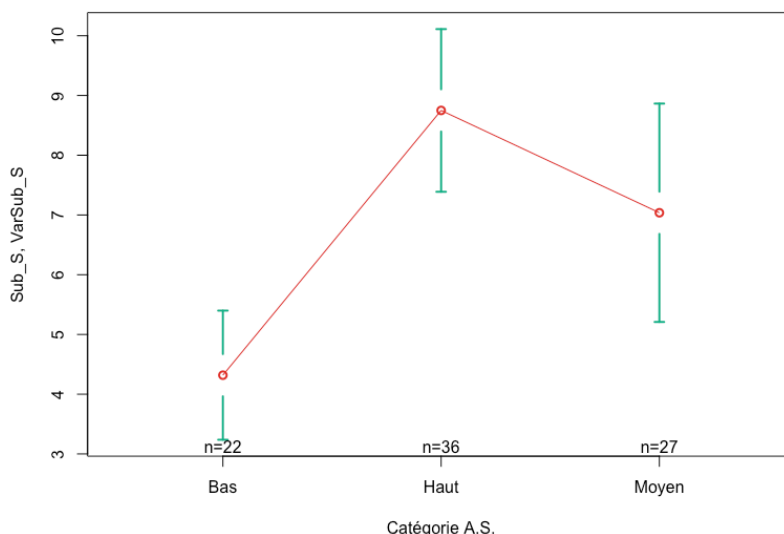


Figure 3 • Intervalles de confiance par catégorie de performance pour le motif Sub_S, VarSub_S

D'autre part, nous remarquons que les motifs présentent certaines sémantiques communes illustrant le comportement des apprenants. Par exemple, les motifs des lignes 1, 6, 7, 8 et 9 reflètent l'enchaînement d'une action exécutée avec succès (*i.e. Sub_S, ReSub_S* ou *VarSub_S*) avec une action de paramètres différents, mais de même type, et exécutée avec succès (*i.e. VarSub_S*). Nous émettons ici l'hypothèse que ces motifs expriment la construction progressive d'une action complexe.

Les séquences d'actions s'apparentent ainsi à des approches mises en œuvre par les apprenants pour réaliser une tâche ou pour résoudre un problème. Certaines de ces approches se réfèrent à une méthodologie commune que nous désignons par *stratégie*. Dans la section suivante, nous définissons ces stratégies à partir des motifs du tableau 2 et analysons leur relation avec la performance académique.

5.3. Stratégies d'apprentissage

Les 13 motifs du tableau 2 font émerger un ensemble de 7 stratégies : *confirmation*, *progression*, *succès-et-réflexion*, *réflexion-et-succès*, *échec-et-réflexion*, *tâtonnement* et *abandon*. *Confirmation* exprime la soumission réussie de mêmes actions (*i.e. commande et arguments inchangés*), tandis que *progression* traduit une séquence d'actions réussies de même type, mais dont les paramètres varient au fur et à mesure. *Succès-et-réflexion* exprime le fait de réussir une soumission, puis d'accéder à l'aide d'un nouveau type d'action. À l'inverse, *réflexion-et-succès* reflète le fait de consulter l'aide d'un type d'action puis d'exécuter avec succès une action de ce type. *Échec-et-réflexion* illustre l'accès à l'aide du type d'une action après l'échec de son exécution. *Tâtonnement* expose le fait d'essayer au moins deux variantes d'une même action, sans résultat positif. Enfin, *abandon* correspond à l'exécution d'une action après l'échec de l'exécution d'une action de type différent.

Le tableau 3 fournit les expressions régulières que nous avons employées pour détecter les stratégies définies ci-dessus au sein des séquences d'actions réalisées par les apprenants. Par exemple, l'expression régulière associée à la stratégie *progression* correspond à des motifs de *natures* d'actions successives, exécutées avec succès, dont le type est le même mais dont les paramètres varient, et dont des accès à l'aide pour ce type d'action peuvent apparaître entre les différentes soumissions.

Tableau 3 • Expressions régulières des stratégies d'apprentissage

Stratégie	Expression régulière
Confirmation	(?:Sub ReSub VarSub)_S(?:Sub_S)*(?:Sub_S)
Progression	(?:Sub ReSub VarSub)_S(?:Help)?VarSub_S
Succès-et-réflexion	(?:Sub ReSub VarSub)_S(?:Help NewHelp)
Réflexion-et-succès	(?:Help NewHelp)(?:Sub ReSub VarSub)_S
Échec-et-réflexion	(?:Sub ReSub VarSub)_F(?:Help NewHelp)
Tâtonnement	(?:Sub ReSub VarSub)_F,
	(?:ReSub VarSub)_F*(?:ReSub VarSub)_F
Abandon	(?:Sub ReSub VarSub)_F(?:Help)*(?:NewHelp,Sub_)

5.4. Résultats

Nous avons analysé la relation entre chacune des stratégies et la performance académique en appliquant les mêmes tests que pour les motifs séquentiels étudiés à la section 5.2 (*i.e.* ANOVA pour AScat, et corrélation de Pearson pour AS). Le tableau 4 illustre les résultats de l'analyse des stratégies d'apprentissage. Les valeurs significatives apparaissent en gras, alors que les stratégies pour lesquelles au moins un résultat significatif a été calculé apparaissent en italique.

Tableau 4 • Analyse des stratégies d'apprentissage

Stratégie	Tendance d'usage	Valeur-p ANOVA	Coef. corr.	Valeur-p corr.
Confirmation	∅	0,745	0,108	0,321
<i>Progression</i>	H, M > B	0,001	0,294	0,006
<i>Succès-et-réflexion</i>	H, M > B	0,010	0,282	0,008
<i>Réflexion-et-succès</i>	H, M > B	0,015	0,242	0,026
<i>Échec-et-réflexion</i>	∅	0,020	0,273	0,011
Tâtonnement	∅	0,341	-0,050	0,670
Abandon	∅	0,457	-0,004	0,968

Progression, *succès-et-réflexion*, *réflexion-et-succès* et *échec-et-réflexion* sont les stratégies qui présentent des résultats significatifs. Les trois premières nous permettent de regrouper les étudiants par catégorie de performance et semblent être un trait de comportement relatif aux apprenants de haut et moyen niveau de performance.

Aussi, nous détectons plus de stratégies positivement corrélées à l'AS : les résultats ne révèlent pas de comportements particuliers chez les étudiants de faible de niveau de performance. La stratégie *tâtonnement* ne présente pas de résultat significatif dans cette expérimentation. Cela peut être expliqué par les paramètres expérimentaux mentionnés précédem-

ment (cf. section 3.1) : les apprenants étaient débutants en Informatique, et les activités pratiques réalisées suivaient une approche exploratoire, invitant ces apprenants à découvrir par eux-mêmes les commandes Shell. Dans cette forme d'apprentissage, faire de multiples essais pour découvrir et comprendre comment la machine réagit est un comportement attendu (de Jong, Linn et Zacharia, 2013), quel que soit le niveau de performance de l'étudiant.

Un autre résultat intéressant est celui de la stratégie *abandon*, qui ne semble pas liée à l'AS. Cette stratégie, employée par tous les apprenants, quel que soit leur niveau de performance, n'exprime pas le fait qu'ils échouent à réaliser une tâche particulière. Interrompre la réalisation d'une action peut s'expliquer par différentes hypothèses comme la curiosité ou la découverte d'actions non corrélées avec l'objectif pédagogique. Il ne semble donc pas pertinent de s'appuyer sur cette stratégie pour la prédiction de performance ou pour la prise de décision.

Cette étude sur les stratégies d'apprentissage révèle principalement des comportements d'apprenants de haut et moyen niveaux de performance qui sont positivement corrélés à l'AS. Avec la stratégie de *progression*, les étudiants de haut niveau de performance semblent décomposer leur problème en étapes de complexité croissante. Les trois autres stratégies utilisées plus fréquemment par les étudiants de haut et moyen niveaux sont liées à la réflexion à travers l'utilisation de l'aide ; ce résultat est cohérent avec ceux trouvés dans la section 4, où l'indicateur *#help* (i.e. le nombre d'accès à l'aide) est faiblement et positivement corrélé avec la performance académique.

6. Discussion

6.1. Nouvelles fonctionnalités issues des résultats

Tandis que les résultats de cette étude présentent un intérêt pour approfondir la compréhension des actions des apprenants pendant les sessions de travaux pratiques, la détection de ces comportements à la volée offre de nouvelles opportunités pour le support informatique à l'éducation. L'amélioration continue des EIAH, à partir des résultats expérimentaux dont ils sont le support, est un processus important de leur ingénierie (Tchounikine, 2009). Appliqué aux *learning analytics*, ce cycle d'amélioration permet de découvrir, à partir de l'analyse des traces du système, de nouveaux patrons de conception qui, une fois implantés au sein du système, permettront à leur tour de générer des données

exploitables pour la recherche et l'amélioration de l'EIAH (Inventado et Scupelli, 2015).

À partir de nos résultats et en suivant cette méthodologie, nous avons intégré à la plateforme Lab4CE deux nouvelles fonctionnalités qui s'appuient sur deux patrons de conception différents: (i) le suivi du comportement de l'apprenant et (ii) un système de guidage d'aide intelligent. Nous les présentons ici à travers l'exposition de leurs objectifs, d'un scénario d'apprentissage pour illustrer leur utilisation, et de leurs conception et implémentation.

6.1.1. Suivi du comportement de l'apprenant

Objectifs. Pendant les sessions d'apprentissage, l'enseignant souhaite suivre l'engagement ou la progression des apprenants, et appréhender leur comportement face à l'activité, c'est-à-dire leur engagement comportemental (Fredricks, Blumenfeld et Paris, 2004 ; Molinari *et al.*, 2016). Cet outil vise ainsi à accompagner l'enseignant dans cette activité de suivi par la restitution des stratégies d'apprentissage mises en œuvre par les apprenants lors de la réalisation de tâches pratiques. D'autre part, dans ces situations d'apprentissage pratique, les apprenants doivent faire preuve de compétences d'autorégulation (Loyens *et al.*, 2008), et les environnements qui favorisent leur développement sont bénéfiques à l'apprentissage (Mason, 2004). Restituer à l'apprenant son comportement pendant le TP vise donc également à améliorer sa capacité d'autorégulation.

Scénario. Pendant une session de travaux pratiques, l'outil de suivi du comportement offre à l'enseignant l'opportunité de consulter à tout moment et en temps réel l'évolution des différentes stratégies mises en œuvre par chacun des apprenants. Il est alors en mesure de prendre des décisions de remédiation individuelles (p. ex. conseiller la consultation d'une ressource d'aide, ou apporter directement son aide à un apprenant mettant en œuvre la stratégie de tâtonnement) et/ou collectives (p. ex. proposer la réalisation d'une tâche moins complexe lorsqu'un nombre significatif d'apprenants se trouvent dans cette stratégie de tâtonnement). Du point de vue des apprenants, cet outil leur permet de visualiser l'évolution des stratégies qu'ils appliquent au fur et à mesure de leur apprentissage. Ils peuvent alors développer leurs compétences d'autorégulation en adaptant leur comportement lorsqu'ils se trouvent dans des stratégies qui ne mènent pas à une « bonne » performance académique. Cet outil offre également aux apprenants la possibilité de situer et comparer leur comportement au regard du comportement global de la

classe, et ainsi de s'engager davantage dans les processus de réflexion et d'autorégulation.

Conception et développement. Illustrée sur la figure 4, l'interface de l'outil de suivi des stratégies permet de filtrer l'affichage selon (i) les stratégies, (ii) les utilisateurs, ou (iii) les sessions de travail. Dans le cas où toute l'expérience ou la session courante est sélectionnée, la visualisation se met à jour au fur et à mesure de l'apparition de stratégies chez l'(les) apprenant(s) sélectionné(s). Pour chaque apprenant, la visualisation fait apparaître ses stratégies. Sur la figure 4, seules les stratégies *Succès-puis-réflexion* (en vert) et *réflexion-puis-succès* (en violet) ont été sélectionnées. Les zones noires sont les intervalles de temps où aucune de ces deux stratégies n'a été détectée.

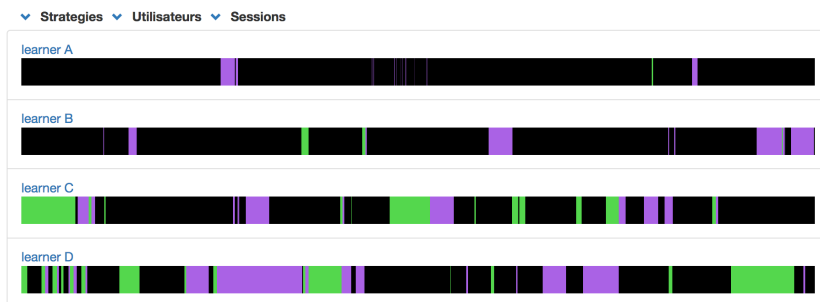


Figure 4 • Suivi du comportement des apprenants en temps réel

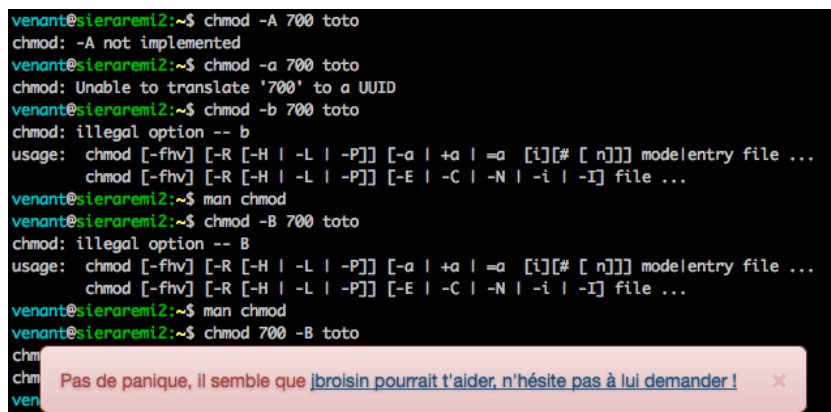
6.1.2. Système de guidage d'aide intelligent

Objectifs. Les systèmes de tutorat Intelligent (*Intelligent Tutoring System, ITS*) ont pour objectifs « d'engager les apprenants dans des activités de raisonnement soutenu et d'interagir avec eux en s'appuyant sur une compréhension profonde de leur comportement » (Corbett, Koedinger et Anderson, 1997). Nous souhaitons ici soutenir la réflexion par la conception d'un système de guidage d'aide intelligent fondé sur les stratégies d'apprentissage. En particulier, ce système a pour vocation de guider les apprenants qui appliquent des stratégies ne menant pas, d'après les résultats de la section 5, à des performances académiques satisfaisantes.

Scénario. À partir des stratégies identifiées pendant l'activité pratique, notre système d'aide peut fournir à l'apprenant un feedback adapté à son comportement pour l'engager dans un processus de

réflexion, en lui proposant la consultation de ressources d'aide ou en l'invitant à demander de l'aide auprès d'un pair. En effet, notre étude a montré que les apprenants consultant les ressources d'aide ont tendance à obtenir des performances académiques plus élevées que ceux ignorant ces aides. Lorsqu'un apprenant se trouve dans une situation d'échec potentiel, c'est-à-dire lorsqu'il applique une stratégie n'étant pas identifiée comme menant à des performances satisfaisantes, le système de guidage lui suggère de modifier sa stratégie d'apprentissage en accédant à des aides numériques fournies par le système, ou en interagissant avec un utilisateur ayant déjà accompli avec succès la tâche demandée.

Conception et développement. Notre système, illustré sur la figure 5, fournit des recommandations, sous la forme de messages qui apparaissent au premier plan, superposés au terminal de l'apprenant, lorsque celui-ci rencontre une difficulté pour réaliser la tâche demandée. Par exemple, lorsque la détection de la stratégie d'essai/erreur se prolonge dans le temps, le système recommande l'utilisation du manuel de la commande, sans pour autant faire l'action à la place de l'apprenant. Dans le cas où l'apprenant aurait déjà effectué cette opération, sans toutefois surmonter la difficulté rencontrée, l'outil de guidage recommande alors un pair sélectionné à partir de trois informations: (i) les stratégies appliquées, (ii) les mesures de performance, et (iii) la charge d'aide des utilisateurs, pour éviter de recommander un pair qui serait déjà en train d'aider un autre apprenant.



```
venant@sieraremi2:~$ chmod -A 700 toto
chmod: -A not implemented
venant@sieraremi2:~$ chmod -a 700 toto
chmod: Unable to translate '700' to a UUID
venant@sieraremi2:~$ chmod -b 700 toto
chmod: illegal option -- b
usage: chmod [-fhv] [-R [-H | -L | -P]] [-a | +a | =a [i]#[ n]] mode[entry file ...
        chmod [-fhv] [-R [-H | -L | -P]] [-E | -C | -N | -i | -I] file ...
venant@sieraremi2:~$ man chmod
venant@sieraremi2:~$ chmod -B 700 toto
chmod: illegal option -- B
usage: chmod [-fhv] [-R [-H | -L | -P]] [-a | +a | =a [i]#[ n]] mode[entry file ...
        chmod [-fhv] [-R [-H | -L | -P]] [-E | -C | -N | -i | -I] file ...
venant@sieraremi2:~$ man chmod
venant@sieraremi2:~$ chmod 700 -B toto
chm
chm
ven
```

Pas de panique, il semble que jbroisin pourrait t'aider, n'hésite pas à lui demander! ✕

Figure 5 • Système de guidage d'aide orienté stratégies d'apprentissage

Cet outil permet ainsi de guider les apprenants selon les stratégies qu'ils mettent en œuvre, et promeut les interactions sociales entre apprenants.

6.2. Travaux connexes

Dans l'enseignement de l'Informatique, plusieurs études ont été menées pour détecter quelles caractéristiques du profil des apprenants peuvent prédire leur succès ou leur échec dans une activité d'apprentissage donnée. Ces caractéristiques comprennent des informations obtenues *avant* l'activité telles que des indicateurs de personnalité, les résultats et expériences académiques passés (Hostetler, 1983 ; Wilson et Shrock, 2001), ou encore les attentes des apprenants (Rountree, N., Rountree, J., Robins et Hannah, 2004). La considération de tels indicateurs est utile, par exemple, pour identifier les apprenants qui pourraient nécessiter plus d'attention et pour lesquels un encadrement particulier serait bénéfique. Mais cette approche limite le profil de l'apprenant à des données qui n'évoluent pas dans le temps : l'activité d'apprentissage est perçue comme un facteur immuable de la réussite de l'apprenant. Au contraire, notre approche est dynamique puisqu'elle s'appuie sur la fouille des données transcrivant le comportement des apprenants pendant l'activité elle-même, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour découvrir de nouveaux facteurs d'influence, mais aussi pour appliquer différentes remédiations à partir du comportement des apprenants.

D'autres recherches ont adopté une approche similaire à la nôtre. Par exemple, Blikstein (2011) et Watson *et al.* (2013) s'appuient sur l'évolution des codes sources des étudiants pour analyser l'impact d'indicateurs tels que la taille du code, le nombre de compilations ou le temps écoulé entre deux compilations sur la réussite des candidats au test post-expérimentaux. De la même manière, Vihavainen (2013) présente une étude quantitative dans un cours d'introduction à la programmation. Différentes versions des codes sources sont analysées au fur et à mesure des TP pour en extraire des facteurs potentiels de prédiction du succès tels que l'indentation du code, le masquage de variables ou les résultats des compilations. Dans ces travaux, les indicateurs sont fortement couplés à l'activité de programmation.

Dans les systèmes LaboRem (Luthon et Larroque, 2015) ou Ironmaking (Babich et Mavrommatis, 2009) dédiés à l'apprentissage de la physique, les apprenants doivent saisir les valeurs de divers paramètres sur différents appareils avant de lancer une simulation dont les résultats permettent

d'analyser différents phénomènes physiques. Les notions d'action et de variation de paramètres introduites dans notre étude s'appliquent également dans ce contexte spécifique de la physique, offrant ainsi la possibilité d'analyser le comportement des apprenants en réutilisant les natures d'actions et les stratégies d'apprentissage que nous avons définies. Plus généralement, notre approche d'analyse peut être appliquée dès lors que l'EIAH associé au VRL intègre des capacités de collecte des traces traduisant les interactions entre les apprenants et les dispositifs qu'ils manipulent, d'une part, et les accès à des ressources d'aide, d'autre part (voir section 5.2). Les stratégies d'apprentissage introduites dans cette étude pourraient ainsi permettre de suivre le comportement des apprenants de façon homogène dans l'apprentissage de différentes disciplines, en particulier celles liées aux STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), qui intègrent une part importante de sessions pratiques dans leurs curriculums. Si l'analyse par les stratégies d'apprentissage dans d'autres matières s'avérait concluante, elle ouvrirait la voie à une consolidation et une généralisation des résultats que nous avons obtenus dans notre contexte spécifique.

Avec l'augmentation constante des traces d'apprentissage qu'un système est capable de collecter, et ce à un niveau de détails de plus en plus élevé, l'application de méthodes de fouille de données gagne en importance. En particulier, la fouille de motifs séquentiels que nous avons appliquée, utilisée pour déterminer les motifs les plus fréquents dans un ensemble de séquences d'actions (Agrawal et Srikant, 1995), devient une approche courante pour mieux comprendre le comportement des apprenants, particulièrement dans le domaine des MOOC (*Massive Open On-line Courses*). Proches de nos travaux, Wen et Rosé (2014) s'appuient sur un modèle de détection de *N-gram* appliqué à deux MOOC de Coursera pour extraire des affinités d'activités entre étudiants (p. ex. « parcourir le cours », « tâches et forum »), afin de les regrouper, et finalement d'étudier les potentielles différences d'activités entre les étudiants de faible niveau de performance et ceux de haut niveau. Toujours à partir d'un jeu de données de MOOC proposés par Coursera, A. Anderson *et al.* (2014) étudient les motifs d'actions à un plus haut niveau d'abstraction pour faire la distinction entre faible et haut niveau de réussite du MOOC. Les auteurs proposent une taxonomie exclusive de comportements généraux sur un MOOC (*i.e.* lecteur ou collecteur, solutionneur, touche-à-tout et spectateur), fondée sur l'observation du nombre de devoirs et de lectures accomplis par les utilisateurs. Les auteurs explorent ensuite la distribution

des apprenants selon cette taxonomie à travers différentes dimensions telles que l'engagement, les durées d'interaction ou les notes obtenues. Dans cette recherche, la fouille de motifs séquentiels permet aux auteurs de conclure, par exemple, que la population des étudiants de haut niveau de performance est composée principalement de deux sous-groupes : les solutionneurs, qui réalisent les devoirs sans réaliser de lecture (ou très peu), et les touche-à-tout, qui lisent les supports, regardent les vidéos, finissent les quizz, et font ensuite les devoirs notés.

En suivant une méthodologie similaire, Kinnebrew, Loretz et Biswas (2013) suggèrent un algorithme fondé sur une combinaison de techniques de fouille de motifs pour différencier deux groupes d'étudiants à travers la fréquence de leurs motifs d'actions. Les auteurs visent également l'identification et la comparaison entre étudiants de haut niveau et étudiants de faible niveau de réussite pendant des phases d'apprentissage productives et contre-productives. Leur méthodologie comprend (i) un algorithme fondé sur Pex-SPAM (Ho, Lukov et Chawla, 2005) pour identifier un ensemble de motifs, et (ii) l'utilisation d'algorithmes de représentation linéaire par parties pour identifier les phases productives et contre-productives. Les auteurs identifient ainsi certains motifs qui sont plus utilisés par un groupe d'apprenants que par l'autre, selon la phase d'apprentissage. Bien qu'une représentation abstraite d'actions soit proposée, celle-ci reste dédiée aux MOOC et ne peut être appliquée à un VRL. Cependant, cette approche par abstraction est comparable à la nôtre, puisque, si nous utilisons des expressions régulières pour détecter les stratégies d'apprentissage, eux ajoutent des suffixes spécifiques à leur alphabet pour exprimer la multiplicité des occurrences et la pertinence/non-pertinence des actions, afin d'identifier les relations entre deux actions consécutives. Toutefois, leur étude de la relation entre motifs et performance n'est applicable que pour une performance mesurée par une métrique scalaire et régulièrement évaluée par l'environnement.

7. Conclusion

L'étude présentée dans cet article, fondée sur l'analyse de données collectées dans un contexte d'apprentissage réel, visait à appréhender les liens entre le comportement des apprenants en situation de travail pratique et leur performance académique. Nous avons adopté une approche exploratoire par la fouille de motifs séquentiels pour identifier des stratégies d'apprentissage corrélées à la performance. Celles dont la corrélation est la plus importante sont (i) la *progression*, lorsqu'un

apprenant effectue étape par étape plusieurs actions de même nature mais de plus en plus complexes, et (ii) [resp. (iii)] la *réflexion* de l'apprenant par la consultation d'une aide avant [resp. après] l'exécution d'une action. Ces stratégies semblent être représentatives des étudiants de haut et moyen niveaux de performance. Toutefois, cette étude ne concerne que les interactions entre les apprenants et les ressources qu'ils manipulent pour réaliser l'activité pratique ; des travaux sont en cours pour étendre notre modèle d'analyse aux autres données collectées par Lab4CE, afin d'investiguer plus en profondeur le comportement des apprenants.

Si nous avons étudié ici les liens de corrélation entre comportement et performance des apprenants, nous devons approfondir notre analyse afin d'étudier leurs liens de causalité, mais également afin de proposer un modèle prédictif dans le but de prévenir les échecs des étudiants. Aussi, les stratégies d'apprentissage traduisant le comportement des étudiants ont été définies de manière *ad hoc* ; leur formalisation à partir des recherches issues du domaine des Sciences de l'Éducation permettrait de les doter d'une définition pérenne et de fournir une base plus solide pour l'étude comportementale des apprenants dans diverses situations pédagogiques. Le système de guidage d'aide présenté dans cet article a pour but de motiver chez l'apprenant l'application de stratégies d'apprentissage particulières. Cet outil pourrait donc être utilisé dans un cadre expérimental pour observer si la mise en œuvre d'une stratégie induit une variation de la performance, dans l'objectif d'étudier le lien de causalité entre ces deux variables. Toutefois, nous devons d'abord analyser l'impact de cet outil sur le comportement des étudiants, tout comme nous devons valider l'outil de visualisation des stratégies dédié aux enseignants comme aux apprenants.

Enfin, Lab4CE intègre également des fonctionnalités destinées au travail coopératif et collaboratif. La mise en œuvre d'activités collectives permettrait d'étudier de nouvelles questions de recherche sur les comportements des apprenants en situation de travaux pratiques, dans un contexte socioconstructiviste. Étudier l'influence des stratégies sur les interactions entre apprenants, ou l'évolution individuelle et collective de ces stratégies au fur et à mesure de l'apprentissage, sont autant de perspectives de recherche que nous souhaitons aborder à l'avenir.

RÉFÉRENCES

Agrawal, R. et Srikant, R. (1995). Mining sequential patterns. Dans *Proceedings of the Eleventh International Conference on Data Engineering (ICDE'95)* (p. 3-14). Récupéré de : <https://pdfs.semanticscholar.org/d6a0/e0b04a020ac6422b98b8e63027a6178060fd.pdf>

Aleven, V., McLaren, B., Roll, I. et Koedinger, K. (2006). Toward meta-cognitive tutoring: A model of help seeking with a Cognitive Tutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 16(2), 101-128.

Anderson, A., Huttenlocher, D., Kleinberg, J. et Leskovec, J. (2014). Engaging with massive online courses. Dans *Proceedings of the 23rd international World Wide Web Conference* (p. 687-698). <https://doi.org/10.1145/2566486.2568042>

Babich, A. et Mavrommatis, K. T. (2009). Teaching of complex technological processes using simulations. *International Journal of Engineering Education*, 25(2), 209-220.

Blikstein, P. (2011). Using learning analytics to assess students' behavior in open-ended programming tasks. Dans *Proceedings of the 1st international conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK 2011)* (p. 110-116). <https://doi.org/10.1145/2090116.2090132>

Broisin, J., Venant, R. et Vidal, P. (2017). Lab4CE: A remote laboratory for computer education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27, (154-180). <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0079-3>

Bunderson, E. D. et Christensen, M. E. (1995). An analysis of retention problems for female students in university computer science programs. *Journal of Research on Computing in Education*, 28(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/08886504.1995.10782148>

Corbett, A. T., Koedinger, K. R. et Anderson, J. R. (1997). Intelligent tutoring systems. Dans *Handbook of Human-Computer Interaction* (chap. 5, p. 849-874).

Corter, J. E., Nickerson, J. V., Esche, S. K. et Chassapis, C. (2004). Remote versus hands-on labs: A comparative study. Dans *Proceedings of the 34th Annual Frontiers in Education* (p. 17-21). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2004.1408586>

de Jong, T., Linn, M. C. et Zacharia, Z. C. (2013). Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>

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.

Gutierrez-Santos, S., Mavrikis, M. et Magoulas, G. D. (2010). Layered development and evaluation for intelligent support in exploratory environments: the case of microworlds. Dans V. Aleven, J. Kay et J. Mostow (dir.), *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2010)* (p. 105-114). Berlin, Allemagne : Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13388-6_15

Hecking, T., Manske, S., Bollen, L., Govaerts, S., Vozniuk, A. et Hoppe, H. U. (2014). A Flexible and Extendable Learning Analytics Infrastructure. Dans *Proceedings of the International Conference on Web-Based Learning* (p. 123-132). Springer International. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09635-3_13

Ho, J., Lukov, L. et Chawla, S. (2005). Sequential pattern mining with constraints on large protein databases. Dans *Proceedings of the 12th International Conference Management of Data (COMAD)*(p. 89-100).

Hostetler, T. R. (1983). Predicting student success in an introductory programming course. *ACM SIGCSE Bulletin*, 15(3), 40-43.
<https://doi.org/10.1145/382188.382571>

Inventado, P. S. et Scupelli, P. (2015). Data-driven design pattern production: a case study on the ASSISTments online learning system. Dans *Proceedings of the 20th European Conference on Pattern Languages of Programs* (p. 14:1-14:13). New York, NY : ACM.

Kinnebrew, J. S., Loretz, K. M. et Biswas, G. (2013). A contextualized, differential sequence mining method to derive students' learning behavior patterns. *Journal of Educational Data Mining*, 5(1), 190-219.

Leproux, P., Barataud, D., Bailly, S. et Nieto, R. (2013). Présentation et analyse des nouveaux usages pour la conduite de travaux pratiques à distance. *Interfaces Numériques*, 2(3), 453-467.

Lowe, D. B., Berry, C., Murray, S. et Lindsay, E. (2009). Adapting a remote laboratory architecture to support collaboration and supervision. *International Journal of Online Engineering*, 5, 51-56. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v5s1.932>

Loyens, S. M., Magda, J. et Rikers, R. M. (2008). Self-directed learning in problem-based learning and its relationships with self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20(4), 411-427.

Luthon, F. et Larroque, B. (2015). LaboREM—A remote laboratory for game-like training in electronics. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(3), 311-321.
<https://doi.org/10.1109/TLT.2014.2386337>

Ma, J. et Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 38(3). Récupéré de : <https://web.stevens.edu/jnickerson/ACMComputingSurveys2006MaNickerson.pdf>

Mason, L. H. (2004). Explicit self-regulated strategy development versus reciprocal questioning: Effects on expository reading comprehension among struggling readers. *Journal of Educational Psychology*, 96(2).

Molinari, G., Poellhuber, B., Heutte, J., Lavoué, É., Sutter Widmer, D. et Caron, P.-A. (2016). L'engagement et la persistance dans les dispositifs de formation en ligne : regards croisés. *Distances et médiations des savoirs*, 13. Récupéré de : <https://journals.openedition.org/dms/1332>

Orduna, P., Almeida, A., Lopez-de-Ipina, D. et Garcia-Zubia, J. (2014). Learning Analytics on federated remote laboratories: Tips and techniques. Dans *Proceedings of the Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (p. 299-305). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/EDUCON.2014.6826107>

Richter, T., Boehringer, D. et Jeschke, S. (2011). LiLa: A european project on networked experiments. Dans S. Jeschke, I. Isenhardt et K. Henning (dir.), *Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering* (p. 307-317). Berlin, Allemagne : Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16208-4_27

Rountree, N., Rountree, J., Robins, A. et Hannah, R. (2004). Interacting factors that predict success and failure in a CS1 course. *ACM SIGCSE Bulletin*, 36(4), 101-104.

Sancristobal, E., Castro, M., Harward, J., Baley, P., DeLong, K. et Hardison, J. (2010). Integration view of Web Labs and Learning Management Systems. Dans

**Rémi VENANT, Kshitij SHARMA, Philippe VIDAL,
Pierre DILLENBOURG, Julien BROISIN**

Proceedings of the Global Engineering Education Conference (EDUCON) (p. 1409-1417). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2010.5492363>

Tchounikine, P. (2009). *Précis de recherche en Ingénierie des EIAH*. Récupéré de : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00413694>

Venant, R., Vidal, P. et Broisin, J. (2016). Evaluation of learner performance during practical activities: An experimentation in computer education. Dans *Proceedings of the 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (p. 237-241). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2016.60>

Venant, R., Vidal, P. et Broisin, J. (2017). A help management system to support peer instruction in remote laboratories. Dans *Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (p. 430-432). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.123>

Vihavainen, A. (2013). Predicting Students' Performance in an introductory programming course using data from students' own programming process. Dans *Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (p. 498-499). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2013.161>

Watson, C., Li, F. W. B. et Godwin, J. L. (2013). Predicting performance in an introductory programming course by logging and analyzing student programming behavior. Dans *Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (p. 319-323). IEEE.

Wen, M. et Rosé, C. P. (2014). Identifying Latent Study Habits by Mining Learner Behavior Patterns in Massive Open Online Courses. Dans *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Information and Knowledge Management* (p. 1983-1986). New York, NY : ACM. <https://doi.org/10.1145/2661829.2662033>

Wilson, B. C. et Shrock, S. (2001). Contributing to success in an introductory computer science course - a study of twelve factors. *ACM SIGCSE Bulletin*, 33(1), 184-188. <https://doi.org/10.1145/366413.364581>

Workman, M. (2004). Performance and perceived effectiveness in computer-based and computer-aided education: Do cognitive styles make a difference? *Computers in Human Behavior*, 20(4), 517-534. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2003.10.003>



Effet des antécédents émotionnels de contrôle et de valeur sur la résolution de problème dans un jeu vidéo collaboratif

► **Sunny AVRY** (Université de Genève & UniDistance), **Guillaume CHANEL** (Université de Genève), **Mireille BÉTRANCOURT** (Université de Genève), **Thierry PUN** (Université de Genève), **Gaëlle MOLINARI** (Université de Genève & UniDistance)

■ **RÉSUMÉ** • Des feedbacks biaisés de contrôle et de valeur ont été utilisés pour influencer l'évaluation émotionnelle pendant un jeu collaboratif de résolution de problème. Nous avons étudié comment ces feedbacks ont modulé l'intensité des émotions ressenties ainsi que les relations entre les émotions, la collaboration perçue et la performance du groupe. Les résultats montrent des patterns de corrélations entre émotions, processus socio-cognitifs et performance différents en fonction des perceptions de contrôle et de valeur.

■ **MOTS-CLÉS** • jeu vidéo collaboratif de résolution de problème, contrôle et valeur perçus, émotions, processus socio-cognitifs

■ **ABSTRACT** • *Biased feedbacks of control and value were used to influence the emotional appraisal during a collaborative problem-solving game. We investigated how these feedbacks modulate the intensity of experienced emotions as well as the relations between emotions, perceived collaboration and group performance. Different correlational patterns between emotions, socio-cognitive processes and performance occurred depending on the perceived control and value.*

■ **KEYWORDS** • *collaborative problem-solving game, perceived control and value, emotions, socio-cognitive processes*

1. Introduction

La collaboration se définit comme l'interaction dynamique de plusieurs espaces: intra- et interpersonnel, cognitif et relationnel (Andriessen, Baker et van der Puil, 2011; Barron, 2003). La qualité de la collaboration dépend de la mise en œuvre au cours de la tâche de certains processus de type socio-cognitif comme ceux grâce auxquels les membres d'un groupe construisent un terrain commun de connaissances, demandent et/ou apportent des explications, construisent sur les contributions de leur(s) partenaire(s) (Berkowitz et Gibbs, 1983) et co-construisent de nouvelles connaissances (Dillenbourg, Traum et Schneider, 1996). Par ailleurs, des facteurs socio-émotionnels modulant la qualité de la relation interpersonnelle interviennent également dans la performance de groupe (Barron, 2003; Dillenbourg *et al.*, 1996; Quintin et Masperi, 2010). En dépit du rôle non négligeable des aspects émotionnels dans la réussite de la collaboration, la relation entre les émotions et les processus socio-cognitifs reste encore peu explorée. La présente recherche propose d'étudier ces relations dans une situation de résolution collaborative de problème dans le jeu vidéo Portal 2®. Deux objectifs sont associés à cette recherche. D'une part, il s'agit d'étudier comment l'évaluation subjective de l'activité collaborative influence les émotions ressenties. D'autre part, il s'agit d'explorer comment ces émotions sont liées aux processus socio-cognitifs et à la performance du groupe. À cette fin, deux types de feedbacks biaisés concernant (1) le niveau de maîtrise du jeu et (2) la récompense pouvant être obtenue à l'issue du jeu ont été utilisés pour influencer l'évaluation de la collaboration et les émotions ressenties (Pekrun, 2006).

1.1. Émotions dans l'apprentissage individuel et collaboratif

Dans les théories cognitives actuelles (Scherer, 1999), les émotions sont décrites comme le résultat de l'évaluation cognitive (*appraisal*) qu'un individu fait à propos d'un événement. Cette évaluation se base sur plusieurs critères comme le fait que cet événement soit nouveau, agréable ou désagréable, pertinent au regard des buts et besoins de l'individu, ou de sa capacité à gérer les conséquences de cet événement. Les relations entre les émotions, la cognition et la motivation dans les situations d'apprentissage individuel ont été largement documentées - voir p. ex. (Pekrun, 2014). La littérature montre ainsi que les émotions influencent les ressources attentionnelles, l'effort, l'engagement, les stratégies d'apprentissage et

les performances académiques. Pourtant, les apprenants n'ont que peu conscience des effets de leurs émotions (Pekrun et Linnenbrick-Garcia, 2012).

Plusieurs catégories d'émotions académiques sont distinguées comme les émotions épistémiques, les émotions sociales, les émotions liées au thème d'apprentissage et les émotions d'accomplissement sur lesquelles se focalise la présente étude. Ces dernières sont générées par l'activité elle-même ou par le résultat de cette activité, et sont classées selon deux axes, la valence et le niveau d'activation. Ainsi, elles peuvent être positives et activantes (par ex. plaisir), positives et désactivantes (p. ex. relaxation), négatives et activantes (p.ex. frustration), ou négatives et désactivantes (p. ex. ennui) (Pekrun et Linnenbrick-Garcia, 2012). La théorie Contrôle-Valeur (Pekrun, 2006) postule que ces émotions d'accomplissement sont le produit de l'évaluation par l'apprenant de l'activité et de son résultat selon deux critères subjectifs principaux, le contrôle et la valeur. Le contrôle renvoie à la perception que l'apprenant a de sa capacité à produire les actions nécessaires à la réalisation adéquate de la tâche. La valeur que l'apprenant accorde à l'activité (ou à son résultat) peut être intrinsèque (l'intérêt qu'il porte au contenu de la tâche) ou extrinsèque (le lien qu'il perçoit entre cette tâche et les buts qu'il poursuit). La théorie Contrôle-Valeur postule que l'évaluation de l'activité d'apprentissage (en termes de contrôle et de valeur) détermine les émotions d'accomplissement ressenties pendant cette activité. Par exemple, si la tâche est évaluée comme intéressante et utile (valeur subjective positive) mais trop difficile (contrôle subjectif négatif), une émotion négative et désactivante comme le désespoir pourra être ressentie.

À ce jour, les connaissances sur les effets cognitifs, motivationnels et sociaux des émotions en contexte d'apprentissage - et en l'occurrence d'apprentissage médiatisé par ordinateur - nécessitent d'être approfondies. Les émotions pourraient influencer à la fois les stratégies cognitives (facilitant la résolution de problème) et d'autorégulation (Pekrun, 2014). Par exemple, les émotions positives telles que la curiosité ou le plaisir favoriseraient la créativité et l'utilisation de stratégies d'apprentissage flexibles (Fredrickson et Branigan, 2005 ; Pekrun, 2006). En revanche, les émotions négatives conduiraient à l'utilisation de stratégies plus rigides et centrées sur les détails, et induiraient un traitement plus superficiel de l'information (Pekrun et Linnenbrick-Garcia, 2012).

L'effet des émotions ne peut pas être considéré que sur le plan individuel. Les émotions sont également sociales dans le sens où elles peuvent être générées par autrui, exprimées pour autrui et régulées pour influencer autrui (Van Kleef *et al.*, 2016). La dynamique interpersonnelle ainsi que les décisions prises au sein du groupe entretiennent donc un lien étroit avec les émotions ressenties. Dans les situations d'interactions sociales, les émotions positives comme la joie augmentent les comportements d'approche et promeuvent l'affiliation, l'engagement, la confiance interpersonnelle, la cohésion de groupe ou encore la coopération (Van Kleef, Cheshin, Fischer et Schneider, 2010). C'est également le cas de certaines émotions négatives comme la tristesse dont une des fonctions est de signaler un besoin d'aide. En revanche, d'autres émotions négatives comme la colère peuvent être interprétées comme de la dominance ou un manque d'affiliation, ce qui peut provoquer des comportements d'évitement, réduire la coopération et péjorer la performance de groupe (Van Kleef *et al.*, 2010). Quintin et Masperi (2010) montrent que la qualité du climat interpersonnel explique une part substantielle de la qualité des productions communes. Barron (2003) montre également que les variables cognitives liées à la résolution de la tâche (p. ex. les connaissances préalables) échouent à expliquer les différences de performance entre groupes d'apprenants. L'auteure pointe le fait que certains types d'interactions associés à un défaut d'attention conjointe, de la compétition et des violations de tours de parole rendent les groupes moins performants. Andriessen *et al.* (2011) ont formalisé cette idée, et proposent que l'apprentissage collaboratif implique deux processus d'ajustement interreliés, l'un socio-cognitif dédié à la divergence et la convergence des idées, l'autre socio-relationnel dédié au maintien d'une bonne relation de travail. Dans cette approche, l'expérience d'apprentissage collaboratif est vue comme un cycle de tension et de relaxation, tant sur le plan cognitif que sur le plan relationnel. Les tensions peuvent survenir en cas de conflit socio-cognitif et/ou d'actes relationnels négatifs (p.ex. compétition, actes menaçants pour l'estime de soi). Järvenoja et Järvelä (2009) soulignent la nécessité pour les apprenants de réguler mutuellement ces tensions car elles peuvent générer des émotions négatives pouvant être préjudiciables à la collaboration. Il y a relaxation lorsque le conflit socio-cognitif est dépassé, et également par le biais d'actes relationnels positifs comme l'humour et le rire qui vont détendre l'atmosphère. Les phases de relaxation sont généralement associées à des émotions positives comme le plaisir et le soulagement.

1.2. Problématique

Cette étude vise à approfondir la question du rôle des émotions dans la résolution collaborative de problème. L'étude psychologique des émotions dans ce contexte est une étape primordiale dans la conception d'environnements capables de prendre en compte l'interaction entre les dimensions cognitives et émotionnelles de l'apprentissage collaboratif.

L'étude se focalise ici sur les différentes émotions d'accomplissement (positives activantes et désactivantes, négatives activantes et désactivantes) qui émergent consécutivement à l'évaluation subjective de l'activité collaborative (Pekrun, 2006). Dans cette étude, les participants travaillaient en dyades et à distance à la résolution d'une série de puzzles en 3D de la version collaborative du jeu de réflexion Portal 2®. L'originalité de cette étude repose sur la manipulation de la perception de contrôle et de valeur qui interviennent dans l'évaluation de l'activité et de son résultat et par là-même dans le déclenchement d'émotions d'accomplissement. Cette manipulation a été réalisée en donnant deux types de feedbacks biaisés tout au long du jeu : un feedback de contrôle qui informait la dyade de son niveau de maîtrise sur la tâche (contrôle haut versus bas) et un feedback de valeur extrinsèque qui l'informait - via un classement - de la récompense qu'elle devait s'attendre à recevoir en fin de partie, étant donné sa performance actuelle (valeur haute versus basse).

L'étude s'axe autour de trois questions de recherche principales. La première concerne l'effet des feedbacks biaisés de contrôle et de valeur sur les émotions ressenties. (Q1) : dans quelle mesure les feedbacks biaisés influencent-ils l'intensité des émotions ressenties ? La deuxième question concerne le lien entre l'intensité rapportée de ces émotions et la perception de la collaboration au sein du groupe. (Q2) : dans quelle mesure les émotions corréleront-elles à la fréquence avec laquelle les participants perçoivent mettre en jeu différents comportements socio-cognitifs ? Enfin, la troisième question interroge le lien entre les émotions ressenties et la performance réelle du groupe. (Q3) : dans quelle mesure les différentes émotions ressenties corréleront-elles à la performance réelle du groupe ?

Trois hypothèses théoriques découlent de ces questions.

H1 : les feedbacks biaisés de contrôle et de valeur modulent l'intensité des émotions d'accomplissement ressenties. De manière générale, les feedbacks positifs (maîtrise et/ou valeur haute) augmentent l'intensité des

émotions positives (H1.1) alors que les feedbacks négatifs (maîtrise et/ou valeur basse) augmentent l'intensité des émotions négatives (H1.2).

H2: il existe une relation entre la qualité perçue de la collaboration et les émotions ressenties. Plus les participants expriment ressentir des émotions positives - et en l'occurrence des émotions positives activantes (espoir, fierté, joie, plaisir, gratitude) - pendant le jeu, plus ils rapportent mettre en œuvre des processus socio-cognitifs associés à une collaboration efficace comme la mise en commun d'informations ou la transactivité (construire sur les idées du partenaire) (H2.1). En revanche, une relation négative est attendue entre les émotions négatives - et en l'occurrence les émotions négatives désactivantes (déception, désespoir, ennui, tristesse) - et la mise en œuvre perçue de ces processus socio-cognitifs (H2.2).

H3: la performance du groupe est corrélée positivement aux émotions positives tandis qu'elle est corrélée négativement aux émotions négatives.

2. Méthode

2.1. Participants

Quatre-vingts participants, majoritairement étudiants en informatique à l'Université de Genève (18 femmes et 62 hommes ; $M = 22.02$ ans, $SD = 3.49$ ans) regroupés en 40 dyades de même sexe ont volontairement participé à cette étude¹. La plus faible proportion de femmes reflète le déséquilibre retrouvé dans la population utilisée. Les dyades étaient de même sexe afin de contrôler les différences inter-sexe en termes d'expressivité émotionnelle. Chaque dyade était rémunérée 50 CHF. Les membres de chaque dyade se connaissaient préalablement. Ils n'avaient jamais joué au jeu vidéo proposé durant la tâche.

2.2. Design expérimental

Les dyades étaient assignées aléatoirement et en nombre égal à l'un des 5 groupes, à savoir les 4 conditions expérimentales et la condition contrôle. Dans les conditions expérimentales, les participants de chaque dyade recevaient à intervalles réguliers deux types de feedbacks biaisés, l'un donnant une information, sous la forme d'un pourcentage, sur le

¹ L'étude a été préalablement validée par la commission d'éthique de la faculté de Psychologie et de Science de l'Éducation de l'Université de Genève.

niveau de maîtrise actuel de leur dyade vis-à-vis de la résolution de la tâche (feedback de contrôle), l'autre portant sur la récompense estimée de leur dyade étant donné son classement actuel parmi 14 dyades aléatoires supposées avoir réalisé précédemment la tâche (feedback de valeur). Ces deux types de feedback de groupe visaient à influencer le contrôle perçu sur la tâche et la valeur extrinsèque attribuée à la tâche. Selon la condition, les participants recevaient un feedback biaisé de contrôle indiquant un niveau de maîtrise de la tâche faible couplé à un feedback biaisé de valeur indiquant une faible rémunération (condition Contrôle bas/Valeur basse), un niveau de maîtrise faible couplé à une rémunération élevée (condition Contrôle bas/Valeur haute), un niveau de maîtrise élevé couplé à une rémunération faible (condition Contrôle haut/Valeur basse) et un niveau de maîtrise élevé couplé à une rémunération élevée (condition Contrôle haut/Valeur haute). Le niveau de maîtrise indiqué aux participants variait de 10 à 20 % pour les conditions de contrôle faible et de 80 à 90 % pour les conditions de contrôle élevé. La rémunération variait de 10 à 12 CHF pour les conditions de valeur faible, et de 46 à 50 CHF pour les conditions de valeur élevée. Dans la condition contrôle, les participants ne recevaient aucun feedback. À l'issue de l'expérience, il était précisé que les feedbacks étaient biaisés et chaque dyade recevait le montant maximal de 50 CHF.

2.3. Précautions méthodologiques

Afin de limiter le fait que le feedback biaisé de maîtrise puisse apparaître en contradiction avec la propre impression de maîtrise des participants, plusieurs précautions méthodologiques ont été prises. Premièrement, les participants étaient tous novices dans le jeu considéré. De ce fait, ils ne possédaient pas de connaissances préalables leur permettant de savoir objectivement s'ils maîtrisaient le jeu ou non. Il leur était cependant indiqué qu'à l'issue de la phase d'entraînement, ils possédaient à ce stade toutes les compétences requises pour pouvoir résoudre la tâche, afin qu'ils ne se considèrent pas automatiquement comme mauvais du seul fait qu'ils soient novices. Deuxièmement, les participants n'étaient pas informés de leur progression dans la tâche afin de ne pas pouvoir déduire leur degré d'avancement dans le jeu. Troisièmement, les participants ne connaissaient pas les types d'actions prises en compte dans l'évaluation par le système de leur niveau de maîtrise. Ainsi, une progression jugée par les participants comme lente n'était pas forcément considérée comme un défaut de maîtrise. Elle pouvait par exemple signifier une meilleure observation des indices environnants, ce qui

pouvait être considéré comme positif par le système d'analyse. Ainsi les dyades les moins rapides pouvaient considérer qu'un niveau de maîtrise affiché élevé et allant à l'encontre de leur impression subjective était dû aux types de critères pris en compte par le système. Enfin, les dyades ayant un degré d'avancement très faible ou nul ont été tout de même exclues. Ces différentes précautions visaient à ce que le feedback de maîtrise soit considéré par les participants comme crédible, quelle que soit leur performance objective.

Concernant le feedback de valeur, il était indiqué aux participants que d'autres participants avaient préalablement réalisé la même tâche et que, considérant leur niveau de maîtrise au moment de l'apparition des différents feedbacks, le logiciel leur indiquait un classement provisoire parmi 14 anciennes dyades sélectionnées de façon aléatoire. Il était également précisé que ces dyades aléatoires restaient les mêmes pour chaque apparition du feedback de valeur au cours du jeu. Ainsi, par exemple, un feedback de valeur élevée donné conjointement à un feedback de maîtrise faible signifiait que la majorité des dyades sélectionnées aléatoirement maîtrisaient moins bien le jeu que la dyade en question, même si son propre niveau de maîtrise indiqué par le système était faible.

2.4. Matériel

2.4.1. Équipement

Deux ordinateurs, chacun équipé d'un écran de 19 pouces, d'une webcam et d'un système de mesures électrophysiologiques BioSemi® ont été utilisés. Les membres de chaque dyade ne se voyaient pas, mais pouvaient communiquer oralement grâce à des casques avec microphones. Les échanges verbaux et le visage des participants ont été enregistrés durant la tâche. Le système BioSemi® a été utilisé pour la mesure des données physiologiques suivantes : le niveau de conductance de la peau, le rythme cardiaque, la pression sanguine et l'amplitude de la respiration. Les données physiologiques et audio-visuelles ne sont pas traitées dans cet article.

2.4.2. Jeu vidéo

Une carte collaborative du jeu vidéo de résolution de problèmes en 3 dimensions en vue subjective Portal 2® a été utilisée (figure 1). Dans ce jeu, les joueurs devaient trouver un moyen pour sortir de plusieurs salles fermées. Pour cela, ils pouvaient manipuler les objets présents dans leur

environnement afin d'ouvrir des passages et avancer vers la salle suivante jusqu'à la sortie. Les joueurs devaient donc trouver une solution par une réflexion commune puis, lorsqu'une solution possible était trouvée, mettre en place des actions coordonnées pour les réaliser en prenant en compte la position courante du partenaire. Ce jeu a été choisi pour 2 raisons. Premièrement, Portal 2® répond particulièrement aux critères d'une tâche collaborative telle que décrite par Rochelle et Teasley (1995). En effet, la collaboration implique l'engagement mutuel des participants dans un effort coordonné pour résoudre le problème ensemble. Deuxièmement, Portal 2® met en jeu des compétences sollicitées dans le domaine académique telles que des compétences de résolution de problème, de cognition spatiale ou de persistance à l'effort - voir (Shute, Ventura et Ke, 2014) pour une description complète des compétences cognitives et motivationnelles sollicitées par le jeu Portal 2®.

2.4.3. Logiciel de feedback

Une fenêtre disposée à droite de l'écran (figure 1), à côté de la fenêtre de jeu, permettait d'indiquer le temps écoulé depuis le début de la tâche ainsi que les feedbacks biaisés : le degré de maîtrise du jeu pour le feedback de contrôle (haut), le classement et la rémunération associée pour le feedback de valeur (bas). Ces feedbacks apparaissaient 6 fois au cours de la tâche, et étaient mis à jour toutes les 5 minutes. Un signal sonore signalait l'apparition de la mise à jour des feedbacks. Les participants étaient invités à en prendre connaissance à chaque signal sonore. Dans la condition contrôle, le logiciel était présent mais n'indiquait que le temps écoulé.

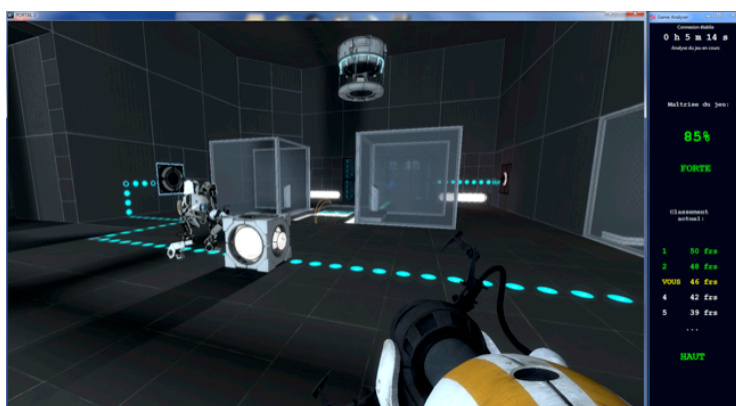


Figure 1 • Le jeu collaboratif Portal 2® (à gauche) et la fenêtre indiquant les feedbacks (à droite)

2.4.4. Questionnaires

Avant l'expérience, les participants répondaient individuellement à 24 questions tirées du test des matrices de Raven PM38 (Raven, J. C., John Hugh Court et Raven, J. 1998). Ce test évalue l'intelligence fluide (capacité à formuler de nouveaux concepts face à de nouvelles informations, à extraire du sens de situations ambiguës et à penser les événements complexes de façon claire). Ce test était soumis aux participants afin de contrôler qu'il n'existait pas de différence significative entre les groupes concernant ces capacités, ce qui a été effectivement retrouvé: $F(4, 64) = 0,972, p = 0.43 > .05$.

Juste après la phase de jeu collaboratif, 4 questionnaires constitués d'échelles de Likert à 7 points étaient proposés. Le questionnaire « Émotions ressenties pendant le jeu » (Q1, Annexe 1) demandait aux participants d'évaluer l'intensité (de 1 : pas du tout à 7 : très fortement) de leurs propres émotions et de celles de leur partenaire pendant le jeu sur la base d'une liste de 16 émotions issues du *Achievement Emotions Questionnaire* (Pekrun, Goetz, Frenzel, Barchfeld et Perry, 2011): 4 émotions négatives activantes (anxiété, colère, frustration et honte), 4 émotions négatives désactivantes (déception, désespoir, ennui et tristesse), 5 émotions positives activantes (espoir, fierté, joie, plaisir, gratitude) et 3 émotions positives désactivantes (relaxation, soulagement, satisfaction).

Le questionnaire « Qualité perçue de la collaboration » (Q2, Annexe 2) a été inspiré de celui utilisé dans (Molinari, Chanel, Bétrancourt, Pun et Bozelle, 2013) ainsi que du schéma de codage développé par Meier, Spada et Rummel (2007) pour évaluer les processus socio-cognitifs qui participent à la qualité de l'apprentissage collaboratif médiatisé par ordinateur. Le questionnaire 2 demandait aux participants d'évaluer leur perception de la fréquence (de 1 : jamais à 7 : très souvent) avec laquelle ils avaient mis en œuvre les processus collaboratifs appartenant à 6 dimensions socio-cognitives : 1) maintenir une compréhension partagée, 2) mettre en commun et donner des explications, 3) construire sur les idées du partenaire (transactivité), 4) argumenter et rechercher un consensus, 5) gérer la tâche, et 6) gérer le temps. Chacune de ces dimensions comportait entre 2 et 5 items. Les questionnaires 3 et 4 évaluaient les processus relationnels et le flow perçus. Les réponses à ces deux derniers questionnaires n'ont pas été analysées dans le cadre de cette étude.

2.5. Performance

La tâche a été préalablement divisée en 28 étapes correspondant à une difficulté à résoudre dans le jeu collaboratif, telle que le déclenchement d'une action suite à une manipulation d'objets ou le franchissement d'un palier. La performance correspond ainsi au ratio du nombre de ces étapes réalisées par le temps de résolution de la tâche en secondes.

2.6. Procédure

Après avoir équipé les participants avec des capteurs physiologiques, un entraînement individuel était proposé afin de les familiariser avec l'environnement et les bases du jeu. Cette phase durait environ 15 minutes. Les participants réalisaient ensuite la tâche collaborative qui consistait à sortir de la salle en résolvant les problèmes leur permettant de franchir chacune des pièces et cela durant 30 minutes. À l'issue de la phase de jeu collaboratif, les participants complétaient sur ordinateur les 4 questionnaires. Le but de l'expérience leur était ensuite expliqué, et ils recevaient leur rémunération.

3. Résultats

Quatre dyades ont été exclues des analyses. Une dyade possédait un niveau de maîtrise des jeux vidéo trop faible et est restée bloquée au tout début de la première salle. Une dyade a été exclue à cause d'un dysfonctionnement du jeu. Après l'expérience, il était explicitement demandé aux participants dans quelle mesure ils avaient cru aux feedbacks biaisés. Tous les participants ont répondu avoir cru aux feedbacks à l'exclusion de deux dyades pour lesquelles au moins l'un des participants a révélé avoir compris que les feedbacks fournis étaient biaisés. Ces deux dyades ont donc été exclues des analyses.

3.1. Effet des feedbacks biaisés sur les émotions ressenties (Q1)

D'un point de vue descriptif, le tableau 1 montre l'intensité moyenne de chacune des émotions considérées pour chaque condition expérimentale (moyenne la plus haute en gras, la plus basse en italique). Les intensités rapportées des émotions négatives et désactivantes (ennui, désespoir, tristesse et déception) apparaissent systématiquement les plus élevées dans la condition Contrôle bas/Valeur basse et les plus basses dans la condition Contrôle haut/Valeur haute. Les intensités de la plupart des émotions positives et activantes (en l'occurrence ici plaisir, fierté et

gratitude) apparaissent, quant à elles, les plus élevées dans la condition Contrôle haut/Valeur haute. Ce n'est cependant pas le cas dans la condition Contrôle bas/Valeur basse où ces émotions ne sont pas systématiquement les moins ressenties. Enfin, les intensités maximales des émotions négatives activantes et positives désactivantes sont réparties de façon plus équilibrée entre les différentes conditions.

Tableau 1 • Intensité des émotions positives (activantes et désactivantes) et négatives (activantes et désactivantes) dans les différentes conditions expérimentales

Emotion	Contrôle bas/ Valeur basse	Contrôle bas/ Valeur haute	Contrôle haut/ Valeur basse	Contrôle haut/ Valeur haute	Contrôle	
Négatives désactivantes	<i>Ennui</i>	2.08	1.06	1.5	1.31	1.81
	<i>Désespoir</i>	3.58	2.5	1.83	2.31	2.26
	<i>Tristesse</i>	2.25	1.43	1.16	1.43	1.56
	<i>Déception</i>	4.08	3.12	3.75	2.68	3.18
Négatives activantes	<i>Colère</i>	2.83	2.87	2.08	2.68	1.81
	<i>Frustration</i>	4.91	4.43	3.25	3.56	3.93
	<i>Anxiété</i>	2.58	2.31	1.63	2.75	1.66
	<i>Honte</i>	3.58	2.25	1.41	1.5	2.12
Positives désactivantes	<i>Relaxation</i>	3.75	3	3.66	3.12	3.6
	<i>Soulagement</i>	2	3.56	3.27	3.43	2.81
	<i>Satisfaction</i>	3	4.12	3.83	4.75	4
Positives activantes	<i>Plaisir</i>	4.8	5.3	5.25	5.56	5.37
	<i>Espoir</i>	3.41	4.06	3.75	4	4.18
	<i>Joie</i>	3.33	4.43	5.08	4.5	4.43
	<i>Fierté</i>	2.41	3.56	3.41	3.56	3.5
	<i>Gratitude</i>	2.66	3.06	3.41	3.53	3.46

Si le plaisir apparaît être l'émotion la plus fortement ressentie dans toutes les conditions à l'exception de la condition Contrôle bas/Valeur basse, où elle est légèrement devancée par la frustration, on peut toutefois noter des patterns émotionnels assez différenciés en dehors de cette émotion dans chacune des conditions expérimentales (voir figure 2). Dans cette figure, les émotions positives et activantes sont représentées en vert, les émotions positives et désactivantes en bleu, les émotions négatives et activantes en rouge et les émotions négatives et désactivantes en violet ; les émotions dont l'intensité est proche ont été regroupées dans les mêmes bulles.

De manière générale, les conditions où le contrôle est bas sont caractérisées par une dominance de frustration. Les conditions où le contrôle est haut sont quant à elles caractérisées par une dominance de joie et de satisfaction. En outre, les conditions où la valeur est haute semblent se distinguer de celles où la valeur est basse par l'émergence d'émotions négatives et désactivantes (déception et désespoir). Ainsi, la

joie, l'espoir et la satisfaction semblent remplacer la déception, le désespoir et la relaxation quand le contrôle est bas mais que la valeur augmente, malgré un niveau de frustration maintenu élevé de part et d'autre. La fierté quant à elle, semble remplacer la déception quand le contrôle est haut mais que la valeur augmente. Enfin, la condition Contrôle (sans feedback) semble révéler un pattern intermédiaire entre les conditions Contrôle bas/Valeur basse et Contrôle haut/Valeur haute, avec une prédominance de joie et d'espoir mêlées à de la frustration et de la relaxation.

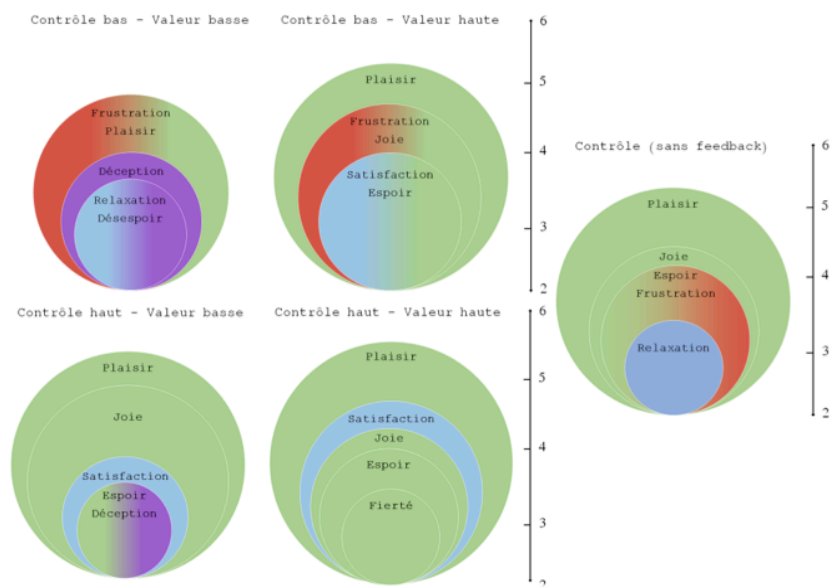


Figure 2 • Patterns émotionnels représentant les 5 émotions les plus intensément ressenties dans chaque condition expérimentale

D'un point de vue inférentiel, une série d'ANOVA à un facteur a été conduite afin de comparer l'effet du facteur expérimental sur l'intensité rapportée des émotions d'accomplissement. Un test de Levene d'homogénéité des variances a été réalisé pour chacune des variables dépendantes considérées. Ces tests se sont avérés tous non significatifs à l'exception du test concernant l'émotion fierté, $F(4,66) = 2.65$, $p = .04$. Un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a donc été réalisé dans ce cas. Un effet significatif global a seulement été retrouvé pour l'émotion de honte, $F(4, 66) = 4.95$, $p = .001$, $\eta^2 = 0.22$. La comparaison *post hoc* montre que

l'intensité moyenne de la honte dans la condition Contrôle bas/Valeur basse ($M = 3.58$, $ET = 1.97$) est significativement supérieure à celles observées dans les conditions Contrôle bas/Valeur haute ($M = 2.25$, $ET = 1.29$), Contrôle haut/Valeur basse ($M = 1.41$, $ET = 0.66$), Contrôle haut/Valeur haute ($M = 1.5$, $ET = 0.89$) et sans feedback (ou condition Contrôle : $M = 2.12$, $ET = 1.70$).

3.2. Corrélations entre les émotions rapportées, les processus collaboratifs socio-cognitifs et la performance du groupe (Q2)

3.2.1. Processus collaboratifs socio-cognitifs

Une analyse de corrélation a été effectuée entre l'intensité des émotions d'accomplissement (moyenne de l'intensité rapportée des deux participants de la dyade) et la fréquence rapportée de l'utilisation des processus socio-cognitifs (moyenne de la fréquence rapportée des deux participants de la dyade) pour chaque condition expérimentale. Un test de permutation pour corrélations multiples a été effectué et seules les corrélations dont la valeur p est inférieure au seuil .05 sont rapportées ici. Les émotions n'entretenant aucune corrélation avec les processus collaboratifs ne sont pas rapportées pour des raisons de lisibilité.

3.2.1.1. Contrôle bas/Valeur basse

Comme présenté dans le tableau 2, c'est dans cette condition que le nombre de corrélations significatives entre les émotions et les processus socio-cognitifs perçus est le plus important (16) ; 7 émotions et 5 processus sont concernés ici. C'est également dans cette condition que les corrélations sont les plus fortes (entre .51 et .86). Parmi les 7 émotions, 6 sont positives et entretiennent des relations positives avec la qualité perçue de la collaboration. La fierté et la satisfaction s'avèrent toutes deux les plus corrélées avec les processus socio-cognitifs (corrélations les plus fortes avec 5 des 6 processus étudiés). Le processus de maintien d'une compréhension partagée est quant à lui le plus corrélé avec les émotions. Par ailleurs, la déception est la seule émotion négative qui soit significativement et négativement corrélée avec deux processus socio-cognitifs, à savoir rechercher un consensus et maintenir une compréhension partagée.

Tableau 2 • Corrélations entre les émotions et les 6 processus socio-cognitifs étudiés dans les différentes conditions expérimentales

Condition	Recherche du consensus	Compréhension partagée	Transactivité	Gestion de la tâche	Gestion du temps	Mise en commun des informations
Contrôle bas						
Valeur bas						
<i>Joie</i>		.58*				
<i>Fierté</i>	.78**	.83***	.51*	.68*		.81**
<i>Gratitude</i>		.62*				
<i>Relaxation</i>		.58*				
<i>Soulagement</i>			.86***			.71**
<i>Satisfaction</i>	.71**	.83***	.76**			.82***
<i>Déception</i>	-.58*	-.82**				
Contrôle bas						
Valeur haut						
<i>Plaisir</i>						.54*
<i>Frustration</i>	.57*		.61*	.53*		
<i>Anxiété</i>			.55*			.54*
Contrôle haut						
Valeur bas						
<i>Espoir</i>	.77**		.67*			.58*
<i>Joie</i>			.69*			
<i>Satisfaction</i>					-.62*	
Contrôle haut						
Valeur haut						
<i>Espoir</i>			.58*			
<i>Fierté</i>				.53*	.55*	
<i>Soulagement</i>					.50*	.70**
Contrôle						
<i>Anxiété</i>						.67**

* significatif à $p < .05$; ** significatif à $p < .01$; *** significatif à $p < .001$

3.2.1.2. Contrôle bas/Valeur haute

Contrairement à la condition précédente, les corrélations significatives entre les émotions et les processus collaboratifs perçus sont beaucoup moins nombreuses (6) (Tableau 2). Trois émotions activantes, dont 2 négatives, sont concernées ici et sont positivement corrélées avec 4 processus socio-cognitifs perçus. Il est à noter que ces 3 émotions - plaisir, frustration et anxiété - sont différentes de celles qui corrélerent avec les processus collaboratifs dans la condition Contrôle bas/Valeur basse. Ainsi, la frustration est corrélée avec la recherche d'un consensus, la transactivité (construire sur les contributions du partenaire) et la gestion de la tâche. L'anxiété est également corrélée avec la transactivité et la mise en commun des informations. Enfin, le plaisir est la seule émotion positive qui corréle avec la perception que les participants ont de leur collaboration et en l'occurrence des processus qu'ils mettent en œuvre pour partager des informations.

3.2.1.3. Contrôle haut/Valeur basse

Cette condition est quasiment équivalente à la condition Contrôle bas/Valeur haute en termes de nombre de corrélations significatives (5), de nombre d'émotions (3) et de processus socio-cognitifs perçus concernés

(4) (tableau 2). Ces derniers sont toutefois uniquement corrélés à des émotions positives – espoir, joie et satisfaction – lesquelles sont différentes de celles observées dans la condition Contrôle bas/Valeur haute. Il est également à noter que parmi ces 3 émotions, l'espoir est la seule qui n'entretient pas de relation avec les processus collaboratifs dans la condition Contrôle bas/Valeur basse. L'espoir semble donc jouer ici un rôle prépondérant en corrélant positivement avec la recherche du consensus, la transactivité et la mise en commun des informations. De façon intéressante, la satisfaction apparaît négativement corrélée avec la gestion du temps. Les émotions négatives ne montrent ici aucune corrélation significative avec les processus socio-cognitifs.

3.2.1.4. Contrôle haut/Valeur haute

Cinq corrélations significatives, toutes positives et concernant 3 émotions positives (dont 2 activantes et une désactivante, à savoir l'espoir, la fierté et le soulagement) et 4 processus socio-cognitifs perçus, sont observées ici. L'espoir est l'émotion commune aux conditions Contrôle haut/Valeur basse et Contrôle haut/Valeur haute. L'espoir est corrélé avec la transactivité, la fierté avec la gestion de la tâche et du temps, le soulagement avec la gestion du temps et la mise en commun des informations. Dans cette condition également, aucune émotion négative n'entretient de relations significatives avec les processus collaboratifs.

3.2.1.5. Contrôle (sans feedback)

Comme présenté dans le tableau 2, seule l'anxiété, qui est une émotion activante, corrèle avec la transactivité dans cette condition.

3.2.2. Performance

L'analyse des corrélations (tableau 3) indique que les émotions positives sont positivement corrélées avec la performance réelle du groupe, des corrélations négatives étant observées avec les émotions négatives. L'ennui, désactivante (dans la condition Contrôle bas/Valeur basse) et la frustration, activante (dans la condition Contrôle bas/Valeur haute) sont les seules émotions négatives corrélées négativement avec la performance. Par ailleurs, le soulagement et la satisfaction, toutes deux désactivantes, sont très fortement et positivement corrélées avec la performance dans les conditions Contrôle bas/Valeur basse (soulagement) et Contrôle haut/Valeur basse (satisfaction). La condition Contrôle haut/Valeur basse est la seule où la performance corrèle avec les émotions activantes de plaisir et de joie. La gratitude, également activante, n'intervient

que dans la condition Contrôle haut/Valeur haute. Dans la condition Contrôle (sans feedback) enfin, seule l'émotion activante de fierté entretient un lien positif avec la performance.

Tableau 3 • Corrélations entre les émotions et la performance réelle de groupe dans les différentes conditions expérimentales

	Contrôle bas Valeur bas	Contrôle bas Valeur haut	Contrôle haut Valeur bas	Contrôle haut Valeur haut	Contrôle
<i>Plaisir</i>			.92**		
<i>Joie</i>			.92**		
<i>Fierté</i>				.73*	.88*
<i>Gratitude</i>				.83*	
<i>Soulagement</i>	.97**			.79*	
<i>Satisfaction</i>		.78*	.91*	.74*	
<i>Frustration</i>		-.83**			
<i>Ennui</i>	-.87*				

4. Discussion

Dans le contexte de la résolution collaborative de problème médiatisée par ordinateur, cette recherche visait à rendre compte de la façon dont des feedbacks biaisés destinés à influencer l'évaluation subjective de l'activité collaborative en termes de contrôle et de valeur peuvent moduler l'intensité des émotions d'accomplissement ressenties. Il s'agissait également d'explorer les relations entre ces émotions, la perception des processus socio-cognitifs mis en œuvre et la performance du groupe.

4.1. Les émotions ressenties reflètent des stratégies de régulation émotionnelle distinctes

Il apparaît des différences d'intensité rapportée des émotions notables sur le plan descriptif. L'analyse des patterns émotionnels des 5 émotions les plus ressenties dans les différentes conditions expérimentales révèle que le jeu semble générer avant tout du plaisir, quel que soient les feedbacks. Mis à part cette émotion, la frustration semble intervenir de façon plus intense lorsque le feedback de contrôle est bas plutôt que haut alors que la déception semble intervenir plus fortement quand la valeur est basse plutôt que haute. Ces différents patterns semblent également pouvoir mettre au jour différentes stratégies de régulation émotionnelle. Par exemple, dans la condition Contrôle bas/Valeur basse, une intensité similaire est rapportée pour la relaxation et le désespoir. On peut ainsi imaginer que dans cette condition, ces émotions puissent distinguer les participants déçus mais se faisant une raison de cet état de fait, et qui ainsi

se relâchent, de ceux qui voient la situation comme désespérée. De façon similaire, dans la condition Contrôle bas/Valeur haute, on peut également penser que certains participants éprouvant de la joie puissent être simplement satisfaits puisque la récompense espérée est haute, alors que d'autres éprouvent davantage l'espoir d'améliorer leur contrôle sur la tâche. Des analyses complémentaires permettront de vérifier si ces patterns distinguent effectivement certains participants.

D'un point de vue inférentiel, seule l'émotion de honte s'avère significativement plus ressentie dans la condition Contrôle bas/Valeur basse que dans les autres conditions. L'hypothèse H1 n'est donc que très partiellement validée. Si le tableau 1 montre bien que certaines émotions sont plus ou moins fortement ressenties selon le groupe expérimental, les différences s'avèrent trop faibles pour que l'analyse inférentielle le confirme. Un nombre plus important de participants par groupe expérimental aurait sans doute pu permettre de valider plus largement l'hypothèse H1.

4.2. Les émotions ressenties reflètent la mise en jeu de processus socio-cognitifs distincts

Toutefois, des différences sont retrouvées entre les différents groupes expérimentaux concernant les corrélations entre émotions, processus socio-cognitifs perçus et performance. C'est dans la condition qui pourrait être perçue comme la plus défavorable par les participants, à savoir la condition Contrôle bas/Valeur basse, que beaucoup d'émotions, principalement positives, corrélaient fortement avec différents processus socio-cognitifs. Dans cette condition particulièrement défavorable, le fait de ressentir des émotions positives, en l'occurrence de la fierté et de la satisfaction, pourrait s'accompagner de la mise en œuvre de processus comme le maintien d'une compréhension partagée ou de la transactivité (construire sur les contributions du partenaire) reconnus comme étant déterminants dans le succès de la collaboration. *A contrario*, ressentir de la déception pourrait décourager les collaborateurs à élaborer un terrain commun et un espace de négociation. Ce résultat amène à poser l'hypothèse que la capacité collective à réévaluer positivement une situation d'apprentissage négative (donc à éprouver davantage d'émotions positives concernant l'accomplissement de la tâche) pourrait s'avérer essentiel à l'établissement et au maintien d'échanges collaboratifs efficaces. *A contrario*, un échec du groupe à réévaluer positivement une tâche négative (augmentation de la déception) pourrait conduire à une diminution

des échanges collaboratifs. Par ailleurs, et au contraire de toutes les autres conditions, il semble exister un lien particulièrement prégnant entre le ressenti de certaines émotions positives ou négatives et la perception de la mise en jeu du processus de maintien de la compréhension partagée, c'est-à-dire d'échanges visant à comprendre son collaborateur et à se faire comprendre de lui. Enfin, le soulagement et l'ennui semblent être les émotions les plus prédictives de la performance finale du groupe bien qu'elles ne semblent pas intervenir dans la perception des processus socio-cognitifs.

La condition Contrôle bas/Valeur haute diffère significativement de la précédente. Dans ce cas, ce sont cette fois-ci deux émotions négatives et activantes, à savoir la frustration et l'anxiété qui sont positivement associées de façon prédominante à la perception de la mise en œuvre de processus socio-cognitifs cruciaux pour la collaboration. Concernant ces émotions, la littérature rapporte que la frustration est généralement ressentie dans une tâche non suffisamment contrôlable (Pekrun, 2006) ou lorsqu'aucun plan n'est disponible pour résoudre le problème (Lehman, D'Mello et Graesser, 2012). Cette émotion aurait également tendance à réduire la coopération, diminuer la mémoire de travail, l'attention, la créativité ou encore la recherche de stratégies efficaces (Lehman *et al.*, 2012). L'anxiété, par ailleurs, diminuerait les performances cognitives mais augmenterait les tendances affiliatives (Fredrickson et Branigan, 2005). Ce dernier résultat semble être cohérent avec le fait que les groupes les plus anxieux sont également ceux qui utilisent davantage les propositions de leur partenaire (transactivité) et partagent davantage les informations pertinentes à la résolution de la tâche. La tendance à rechercher et à utiliser davantage les conseils donnés sous l'effet de l'anxiété a été rapportée dans la littérature (Gino, Brooks et Schweitzer, 2015). Le résultat concernant la frustration, cependant, semble à première vue contradictoire avec ceux provenant de la littérature. Dans la présente étude en effet, la frustration est positivement corrélée avec la perception de la mise en jeu de processus comme la gestion de la tâche, la transactivité et la recherche d'un consensus. Dans cette situation particulière où la récompense espérée est haute, mais la maîtrise du jeu basse, le fait de ressentir de la frustration s'accompagne d'un renforcement de ce type d'échanges collaboratifs, lesquels pourraient apparaître comme un moyen d'améliorer la maîtrise du jeu afin d'éviter la diminution de la récompense espérée. Toutefois, la frustration s'avère négativement corrélée avec la performance du groupe. Il semble ainsi exister une

contradiction apparente entre une augmentation de l'intensité de la frustration corrélée d'une part à une augmentation de la qualité perçue de la collaboration et de l'autre à une diminution de la performance réelle du groupe. Une hypothèse pourrait être que cette émotion pousse les participants à surévaluer la fréquence ou la qualité réelle avec laquelle ils ont mobilisé les processus collaboratifs en question.

Dans la condition Contrôle haut/Valeur basse, l'émotion associée à la mise en œuvre perçue des processus comme la mise en commun des informations, la transactivité et la recherche d'un consensus est l'espoir. Dans cette condition, le fort contrôle perçu sur la tâche pourrait au contraire de la condition précédente, entretenir l'espoir d'une récompense espérée haute, même si celle-ci s'avère faible au moment de la présentation du feedback biaisé. Ainsi, plus les participants auraient l'espoir d'une récompense haute, plus ils s'engageraient dans la mise en œuvre d'échanges socio-cognitifs. De façon intéressante, on peut noter que dans cette condition, ressentir de la satisfaction s'accompagne d'une perception moindre de la gestion du temps bien que cette même émotion soit positivement corrélée à la performance du groupe. On peut rapprocher ce résultat de celui relatif à l'état de flow, état de bien-être et de performance optimale observé dans des situations où les individus ont le sentiment de contrôler totalement leurs actions et dont la distorsion du temps est l'une des conséquences (Csikszentmihalyi, 2014). Tout comme la satisfaction, le plaisir et la joie, toutes deux activantes, semblent également être des émotions fortement prédictives de la performance du groupe dans cette condition.

Dans la condition Contrôle haut/Valeur haute, les émotions associées à la mise en œuvre perçue des processus socio-cognitifs, à savoir l'espoir, la fierté et le soulagement, sont celles prédites par la théorie Contrôle-Valeur de Pekrun (2006) dans les situations où les apprenants sentent qu'ils ont un certain contrôle et accorde une grande valeur à ce qu'ils font. Dans cette condition, la certitude du succès de la tâche, tant en termes de contrôle sur la tâche qu'en termes de récompense espérée, est forte ce qui peut expliquer que les émotions impliquées soient toutes positives et positivement corrélées à la perception de la collaboration. Deux de ces émotions, à savoir la fierté et le soulagement, sont également fortement et positivement corrélées à la performance du groupe, cela avec la gratitude et la satisfaction.

Enfin, les résultats concernant la condition Contrôle (sans feedback) révèle une quasi-absence de corrélation entre les processus collaboratifs perçus et les émotions. Seule l'anxiété s'avère positivement corrélée avec le processus de transactivité dans cette condition. Ce résultat laisse à penser que dans les autres conditions, les corrélations observées entre les émotions et la perception de la qualité de la collaboration ont bien pour antécédents les feedbacks d'accomplissement biaisés. En l'absence de feedback concernant leur niveau d'accomplissement, les participants pourraient ressentir de l'anxiété qui pourrait les inciter à renforcer la qualité de leurs échanges.

L'hypothèse H2 (relation entre émotions et qualité perçue de la collaboration) est donc également partiellement validée.

4.3. Les émotions positives plus impliquées que les émotions négatives

Mis à part la frustration et l'anxiété, ce sont bien des émotions positives qui corrélerent avec la perception des processus socio-cognitifs pendant le jeu. En revanche, les émotions négatives ne corrélerent pas avec ces mêmes processus. Ainsi, deux explications peuvent être proposées à ce résultat. Dans un contexte émotionnel positif, les processus socio-cognitifs pourraient être plus facilement mis en jeu, ce qui ne serait pas le cas dans un contexte émotionnel négatif. *A contrario*, les émotions positives pourraient influencer la perception de la collaboration, sans toutefois se traduire par un nombre plus important d'actes collaboratifs émis. Des analyses futures permettront de dissocier la perception des processus de leur mise en jeu effective au cours de la collaboration. L'hypothèse H3 (relation entre émotions et performance de groupe) est également partiellement validée. Certaines émotions positives corrélerent positivement avec la performance réelle alors que d'autres émotions négatives (en l'occurrence l'ennui et la frustration) sont corrélées négativement avec celle-ci.

5. Limites et conclusion

La présente contribution se veut apporter une compréhension plus fine du rôle des émotions sur les comportements collaboratifs dans le domaine de la résolution de problème en situation médiatisée (à distance via une interface de jeu partagée). Globalement, les résultats mis au jour ici montrent que des feedbacks d'accomplissement de la tâche différenciés amènent à l'établissement de liens préférentiels entre certaines

émotions et la perception par les participants de la mise en jeu de certains processus collaboratifs de type socio-cognitifs. Selon les feedbacks fournis aux participants, certaines émotions seront également plus à même de prédire la performance du groupe.

L'expérience proposée ici présente toutefois plusieurs limites. Premièrement, bien que plusieurs précautions méthodologiques aient été prises afin de garantir la prise en compte des feedbacks par les participants et de maximiser leur croyance en la véracité de ceux-ci, il peut subsister un conflit entre le contrôle réel sur la tâche tel qu'il est perçu par le participant et tel qu'il est donné par le feedback. Deuxièmement, le profil des joueurs, selon qu'ils soient davantage motivés intrinsèquement (but de maîtrise) ou extrinsèquement (but de performance) pourrait influencer la prise en compte des feedbacks par les participants et demanderait à être évalué pour permettre une meilleure mise en perspective des résultats. Enfin, on peut penser que la perception subjective de la qualité de leur collaboration n'est pas totalement corrélée à la qualité réelle de la collaboration. Des phénomènes de préservation de l'estime de soi ou l'état émotionnel du moment peuvent en effet biaiser la perception et le jugement de ce que les participants ont réellement fait. L'encodage et la classification de l'ensemble des échanges verbaux sont en cours afin d'apporter une réponse à cette question.

Nombre de questionnements s'avèrent également en suspens. Par exemple, le caractère exploratoire de cette étude ne permet pas de fournir des explications convaincantes concernant le lien privilégié de certaines émotions avec certains processus socio-cognitifs. L'approfondissement de ce lien causal (entre les émotions ressenties et les actes de collaboration qui en découlent) pourrait permettre 1) de mieux comprendre comment les émotions interfèrent de façon positive ou négative sur la dynamique collaborative et 2) de développer des outils permettant l'utilisation optimisée (Mikolajczak et Quoidbach, 2009) des émotions en situations d'apprentissage et de résolution de problèmes collaboratifs.

RÉFÉRENCES

Andriessen, J., Baker, M. et van der Puil, C. (2011). Socio-cognitive tension in collaborative working relations. Dans *Learning across sites: new tools, infrastructures and practices* (p. 222-242). Londres : Pergamon.

- Barron, B. (2003). When smart groups fail. *The journal of the learning sciences*, 12(3), 307-359.
- Berkowitz, M. W. et Gibbs, J. C. (1983). Measuring the developmental features of moral discussion. *Merrill-Palmer Quarterly*, 29(4), 399-410.
- Csikszentmihalyi, M. (2014). Toward a psychology of optimal experience. Dans *Flow and the Foundations of Positive Psychology: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi* (chap. 14, p. 209-226). Springer Netherlands.
- Dillenbourg, P., Traum, D. et Schneider, D. (1996). Grounding in multi-modal task-oriented collaboration. Dans *Proceedings of the European Conference on AI in Education* (p. 401-407).
- Fredrickson, B. L. et Branigan, C. (2005). Positive emotions broaden the scope of attention and thought-action repertoires. *Cognition & Emotion*, 19(3), 313-332.
- Gino, F., Brooks, A. W. et Schweitzer, M. E. (2015). Anxiety, advice and the ability to discern: Feeling anxious motivates individuals to seek and use advice. *Journal of Personality and Social Psychology*, 102(3), 497-512.
- Järvenoja, H. et Järvelä, S. (2009). Emotion control in collaborative learning situations: Do students regulate emotions evoked by social challenges. *British Journal of Educational Psychology*, 79(3), 463-481.
- Lehman, B., D'Mello, S. et Graesser, A. (2012). Confusion and complex learning during interactions with computer learning environments. *The Internet and Higher Education*, 15(3), 184-194.
- Meier, A., Spada, H. et Rummel, N. (2007). A rating scheme for assessing the quality of computer-supported collaboration processes. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 2(1), 63-86.
- Mikolajczak, M. et Quoidbach, J. (2009). L'utilisation des émotions. Dans M. Mikolajczak, J. Quoidbach, I. Kotsou et D. Nelis (dir.), *Les compétences émotionnelles* (p. 221-238). Paris : Dunod.
- Molinari, G., Chanel, G., Bétrancourt, M., Pun, T. et Bozelle, C. (2013). Emotion feedback during computer-mediated collaboration: Effects on self-reported emotions and perceived interaction. Dans *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL 2013)* (p. 336-343).
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341.
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P. et Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary educational psychology*, 36(1), 36-48.
- Pekrun, R. et Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic emotions and student engagement. Dans S. Christenson, A. Reschly, C. Wylie (dir.), *Handbook of research on student engagement* (1st ed., p. 259-282). Springer US.
- Pekrun, R. (2014). Emotions and Learning. *Educational Practices Series-24*. UNESCO International Bureau of Education.
- Quintin, J. J. et Masperi, M. (2010). Reliance, liance et alliance : opérationnalité des concepts dans l'analyse du climat socio-relational de groupes restreints d'apprentissage en ligne. *Alsic. Apprentissage des Langues et Systèmes d'Information et de Communication*, 13.

**Sunny AVRY, Guillaume CHANEL, Mireille BÉTRANCOURT,
Thierry PUN, Gaëlle MOLINARI**

Raven, J. C., John Hugh Court et Raven, J. (1998). Progressive matrices standard (PM38). Paris : Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.

Scherer, K. R. (1999). Appraisal theory. Dans T. Dalgleish et M. J. Power (dir.), *Handbook of cognition and emotion* (p. 637-663). Wiley-Blackwell.

Shute, V., Ventura, M. et Ke, F. (2014). The power of play: The effects of portal 2 and lumosity on cognitive and noncognitive skills. *Computers & Education, 80*, 58-67.

Van Kleef, G. A., De Dreu, C. K. et Manstead, A. S. (2010). An interpersonal approach to emotion in social decision making: The emotions as social information model. *Advances in experimental social psychology, 42*, 45-96.

Van Kleef, G. A., Cheshin, A., Fischer, A. H. et Schneider, I. K. (2016). Editorial: The Social Nature of Emotions. *Frontiers in Psychology, 7*.

ANNEXE 1 : Questionnaire émotionnel

Lisez attentivement chacune des émotions proposées et répondez, sur l'échelle située en face, en entourant un nombre correspondant le mieux à ce que vous pensez.

Tout au long de la tâche que j'ai accomplie avec mon partenaire, avec quelle intensité j'ai ressenti les émotions suivantes lorsque j'ai reçu les différentes informations concernant la performance de notre groupe ?

Emotions	Intensité
Plaisir	1 2 3 4 5 6 7
Relaxation/Relâchement	1 2 3 4 5 6 7
Colère/Enervement	1 2 3 4 5 6 7
Ennui	1 2 3 4 5 6 7
Espoir	1 2 3 4 5 6 7
Soulagement	1 2 3 4 5 6 7
Anxiété	1 2 3 4 5 6 7
Désespoir	1 2 3 4 5 6 7
Frustration	1 2 3 4 5 6 7
Joie	1 2 3 4 5 6 7
Fierté	1 2 3 4 5 6 7
Satisfaction	1 2 3 4 5 6 7
Honte	1 2 3 4 5 6 7
Tristesse	1 2 3 4 5 6 7
Gratitude	1 2 3 4 5 6 7
Déception	1 2 3 4 5 6 7

ANNEXE 2 : Processus socio-cognitifs

Processus socio-cognitifs

Maintenir une compréhension partagée

- Rendre ses propos/actes compréhensibles pour l'autre.
- S'assurer d'avoir été bien compris par l'autre.
- Confirmer à l'autre que l'on a bien compris ce qu'il a dit fait ou lui demander de clarifier en cas d'incompréhension.

Mettre en commun et donner des explications

- Rassembler le plus d'informations pertinentes possible pour résoudre le problème.
- Faire le lien entre les nouvelles propositions et ce qui a été dit ou fait précédemment.
- Souligner en quoi les nouvelles propositions peuvent être pertinentes pour résoudre le problème.
- Expliquer à l'autre pourquoi l'on fait ce que l'on est en train de faire.
- Recueillir auprès de l'autre des connaissances personnelles pouvant être utile à la résolution du problème.

Transactivité

- Construire sur les propositions de l'autre en les adoptant et en les intégrant aux siennes.
- Construire sur les propositions de l'autre en s'opposant et en les modifiant de sorte à en proposer des différentes.

Argumenter et rechercher un consensus

- Chercher les meilleurs arguments pour ou contre une solution.
- Rester critique et rechercher les faits qui valident ou invalident cette solution afin d'éviter des erreurs.
- Essayer de convaincre l'autre en justifiant ses propositions de solution.
- Demander à l'autre de justifier ses propositions de solution.
- Remettre en question une décision commune seulement si la raison est valable.

Gestion de la tâche

- S'organiser en définissant clairement les sous-tâches à réaliser et en les répartissant de façon équitable.
- Coordonner les idées et les actions respectives.
- Rester attentif à son partenaire afin d'anticiper ses actions et besoins.

Gestion du temps

- Procéder étape par étape en allouant suffisamment de ressources et de temps à chaque étape.
 - Surveiller le temps restant pour résoudre la tâche et veiller à ne pas gâcher de temps inutilement.
-



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, Sorbonne Université

Laetitia BOULC'H • EDA, Université Paris Descartes

Éric BRUILLARD • EDA, Université Paris Descartes

Pierre-André CARON • CIREL, Université Lille

Christophe DESPRÈS • LIUM, Le Mans Université

Sébastien GEORGE • LIUM, Le Mans Université, Laval

Monique GRANDBASTIEN • LORIA, Université de Lorraine

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

Pierre JACOBONI • LIUM, Le Mans Université

Élise LAVOUÉ • IAE de Lyon, Université Jean Moulin Lyon 3

Vanda LUENGO • LIP6, Sorbonne Université

Agathe MERCERON • Université de Berlin, Allemagne

Gaëlle MOLINARI • TECFA, Unidistance, Genève, Suisse

Chrysta PÉLISSIER • Praxiling, Université Montpellier 3

Jean-Luc RINAUDO • Civiic, Université de Rouen

3. Comité de parrainage scientifique

Nicolas BALACHEFF • Laboratoire d'Informatique de Grenoble, CNRS

Stefano CERRI • LIRMM & Université de Montpellier 2

Christian DEPOVER • Université de Mons, Belgique

Alain DERYCKE • TRIGONE, Université de Lille

Pierre DILLENBOURG • École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse

Claude FRASSON • Université de Montréal, Canada

Catherine GARBAY • CNRS, laboratoire d'Informatique de Grenoble

Gilles GAUTHIER • UQAM, Canada

Guy GOUARDÈRES • ISIHM, Université de Pau

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

4. Comité de lecture

Michel ARNAUD • Université Paris Nanterre
Mireille BÉTRANCOURT • TECFA, Université de Genève, Suisse
Jacques BÉZIAT • CIRNEF, Université de Caen Normandie
Bernard BLANDIN • CREF, Université Paris Nanterre et CESI
Julien BROISIN • IRT, Université de Toulouse Paul Sabatier
Thibault CARRON • LIP6, Sorbonne Université et Université de Savoie
Mont-Blanc
Ullrich CARSTEN • EdTec Lab, DFKI GmbH, Sarrebrück, Allemagne
Thierry CHANIER • LRL, Université Clermont Auvergne
Ghislaine CHARTRON • CNAM, Paris
Christophe CHOQUET • LIUM, Le Mans Université, Laval
Philippe COTTIER • CREN, Université de Nantes
Jacques CRINON • ESPÉ, Université Paris Est Créteil
Bruno DE LIÈVRE • Université de Mons, Belgique
Nicolas DELESTRE • LITIS, INSA de Rouen
Élisabeth DELOZANNE • LIP6, Sorbonne Université
Michel DESMARAIS • École polytechnique de Montréal, Canada
Cyrille DESMOULINS • LIG, Université Grenoble Alpes
Philippe DESSUS • LSE, Université Grenoble Alpes
Angélique DIMITRACOPOULOU • LTEE, Université d'Egée, Grèce
Béatrice DROT-DELANGE • ACTé, Université Clermont Auvergne
Aude DUFRESNE • ESI, Université de Montréal, Canada
Cédric FLUCKIGER • Théodile-CIREL, Université Lille
Serge GARLATTI • Lab-STICC, IMT Atlantique, Brest
Viviane GUÉRAUD • LIG, Université Grenoble Alpes
Brigitte GRUGEON • LDAR, ESPÉ, Université Paris Est Créteil
Nicolas GUICHON • ICAR, Université Lumière Lyon 2

Nathalie GUIN • LIRIS, Université Lyon 1
France HENRI • LICEF, Télé-université, Université du Québec,
Montréal, Canada
Pierre JARRAUD • FOAD, Sorbonne Université
Michelle JOAB • LIRMM, Université Montpellier 2
Céline JOIRON • MIS, Université de Picardie Jules Verne, Amiens
Mehdi KHANEBOUBI • STEF, ENS Paris-Saclay
Vassilis KOMIS • Université de Patras, Grèce
Thérèse LAFERRIÈRE • TACT, Université Laval, Canada
Françoise LE CALVEZ • LIP 6, Sorbonne Université
Dominique LENNE • Heudiasyc, Université de Technologie de
Compiègne
Pascal LEROUX • CREM, Le Mans Université
Paul LIBBRECHT • Leibniz Institute for Research and Information in
Education, Allemagne
Cabral LIMA • Université Fédéral de Rio de Janeiro, Brésil
Domitile LOURDEAUX • Heudiasyc, Université de Technologie de
Compiègne
Pascal MARQUET • LISEC, Université de Strasbourg
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, Villeneuve d'Ascq
Julia PILET • LDAR, ESPÉ, Université Paris Est Créteil Val de Marne
Dominique PY • LIUM, Université du Maine, Le Mans
Christophe REFFAY • ELLIAD, ESPÉ, Université de Franche-Comté
Éric SANCHEZ • CERF, Université de Fribourg, Suisse
Nicolas SZILAS • TECFA, Université de Genève, Suisse
Pierre TCHOUNIKINE • LIG, 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
Jean VANDERDONCKT • ISYS, Université catholique de Louvain,
Belgique
Kalina YACEF • Université de Sydney, Australie

En mémoire d'anciens membres de comités :

Erik DUVAL • Université de Louvain, Belgique

François VILLEMONTÉIX • CIREL, Université de Lille

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

Jacques AUDRAN, LISEC, INSA de Strasbourg

François BOUCHET, LIP6, Sorbonne Université

Virginie DEMULIER, LIMSI, Université Paris Sud

Catherine FARON-ZUCKER - I3S, University of Nice Sophia Antipolis

Sébastien IKSAL - LIUM, Le Mans Université, Laval

Marie LEFÈVRE - LIRIS, Université Lyon 1

Alain MILLE - LIRIS, Université Lyon 1

Daniel SCHNEIDER - TECFA, Université de Genève

