

Sticef

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

Volume 29, numéro 2, 2022

numéro spécial

**Sélection
de la Conférence EIAH 2021**

*sous la direction de
Nour EL MAWAS,
Marie LEFEVRE,
Christine MICHEL*



Sticef

Volume 29
numéro 2, 2022

numéro spécial
Sélection de la
Conférence
EIAH 2021

© ATIEF, 2022

ISBN 978-2-901384-06-9

DOI: 10.23709/sticef.29.2 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

**Nour EL MAWAS, Marie LEFEVRE, Christine MICHEL •
Éditorial du numéro spécial : « Sélection de la Conférence
EIAH 2021 »..... 7**

Articles de recherche

**Christine MICHEL, Laëtitia PIERROT • Pratiques des
enseignants durant le confinement lié à la COVID-19 :
niveaux et facteurs d'intégration du numérique dans les
écoles et perspectives pour le développement des usages13**

**Maëlle PLANCHE, Cédric d'HAM, Christian HOFFMANN,
Nadine MANDRAN, Isabelle GIRAULT, Claire WAJEMAN,
Nicolas BALACHEFF, Patricia MARZIN • Caractérisation
des transformations pédagogiques impulsées
par une plateforme numérique 37**

**Gaëlle LEFER-SAUVAGE • Pratique contextualisée des
tablettes tactiles : une intentionnalité empêchée ?.....65**

**Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET,
Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO •
Rétroactions dans un environnement numérique
d'apprentissage : modèle de description et décision87**

**Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN,
Nathalie GUIN, Marie LEFEVRE, Rémi VENANT • Évaluation
de l'utilité et de l'utilisabilité du service COMPER pour
soutenir l'autorégulation dans le travail en autonomie..... 125**

**Thomas SERGENT, Morgane DANIEL, François BOUCHET,
Thibault CARRON • Détection de déficits d'auto-évaluation
et d'auto-efficacité et remédiation dans un EIAH..... 155**

Comités 185



Éditorial du numéro spécial : « Sélection de la Conférence EIAH 2021 »

► **Nour EL MAWAS** (CIREL, Université de Lille),
Marie LEFEVRE (LIRIS, Université Lyon 1),
Christine MICHEL (Techné, Université de Poitiers)

1. Introduction

Ce numéro spécial de la revue STICEF présente une sélection de six articles qui constituent des versions développées de papiers présentés lors de la 10^e édition de la Conférence EIAH (Environnements informatiques pour l'apprentissage humain). Cette édition a eu lieu en ligne du 7 au 10 juin 2021, elle était organisée et portée par la Haute École pédagogique Fribourg (HEP|PH FR).

La thématique scientifique de cette édition concernait la question des transformations dans le domaine des EIAH, souhaitant en particulier décrire ou discuter les innovations technologiques et d'usage(s), leurs caractéristiques et leurs effets sur la construction des connaissances et l'expérience d'apprentissage, mais aussi plus globalement les transformations qu'elles induisent en fonction des contextes.

Organisée tous les deux ans, la conférence EIAH est une conférence internationale, pluridisciplinaire et francophone sur la conception et l'analyse des environnements numériques pour l'éducation et la formation, placée sous l'égide de l'ATIEF (Association des technologies de l'information pour l'éducation et la formation).

Cette communauté pluridisciplinaire regroupe des chercheurs en informatique, en sciences et techniques de l'information et de la communication et en sciences humaines et sociales (sciences de l'éducation et de la formation, didactique, psychologie, sciences de l'information et de la communication, etc.). Elle conduit des recherches dont la finalité est de problématiser et de modéliser des environnements

informatiques, mais aussi d'analyser les usages du numérique pour l'éducation et la formation afin d'en comprendre les effets. Ainsi, les travaux qui sont menés, souvent en collaboration étroite avec les praticiens du domaine, visent à produire des résultats de recherche, des modèles et des environnements informatiques dédiés à la conception, la mise en œuvre et l'évaluation de situations d'apprentissage instrumentées avec le numérique. Ces situations d'apprentissage peuvent se dérouler dans différents contextes, pour des publics divers (scolaire, universitaire, formation professionnelle, publics à besoins particuliers), et selon des modalités variées (en présentiel, à distance ou en mode hybride). Les thématiques traitées concernent la conception, les usages, l'adaptation, les interactions, les fondements technologiques, les contextes d'apprentissage et les questions éthiques et de protection des données.

2. Présentation du numéro spécial

La révolution des modalités d'apprentissage liée à la pandémie de COVID-19 avait semblé porter beaucoup de potentiels en termes d'analyse des innovations technologiques et d'usage(s). Au-delà de cet aspect conjoncturel, la conférence visait à favoriser les réflexions systémiques et situées sur les approches, outils et méthodes permettant de concevoir, déployer ou observer les dispositifs hybrides à des niveaux micro ou macro, mais également constituer un panorama de la variété des dispositifs proposés en considérant les supports technologiques utilisés, les activités proposées, les effets observés en termes d'apprentissage et d'expérience utilisateur, ou les dynamiques sociales soutenant leur émergence ou leur pérennité, en particulier en termes d'acceptation et d'appropriation.

Les trois premiers articles de ce numéro spécial ont pour objectif d'apporter des éléments de réflexion sur les évolutions en matière de pratiques professionnelles des enseignants pour la conception et la mise en œuvre de leurs enseignements avec les technologies.

Les trois derniers articles s'attachent à décrire ou à évaluer comment différentes techniques de rétroactions ou de remédiations automatiques peuvent être utilisées dans les situations d'apprentissage où l'apprenant interagit avec un environnement informatique.

2.1. Évolutions en matière de pratiques professionnelles des enseignants

Le premier article, rédigé par Christine Michel et Laëtitia Pierrot, et intitulé « Pratiques des enseignants durant le confinement lié à la COVID-

19: niveaux et facteurs d'intégration du numérique dans les écoles et perspectives pour le développement des usages », a pour objectif d'analyser, à partir d'une enquête (441 réponses), les usages et pratiques numériques mis en œuvre par les enseignants d'école primaire et de collège, lors du confinement du printemps 2020. En explorant la manière dont les enseignants intègrent les technologies numériques dans leurs pratiques, cet article identifie deux logiques différentes : (1) diversifier les canaux de communication avec les élèves, en particulier *via* les notifications, et proposer des formes d'apprentissage plus actif, collaboratif et engageant, et (2) améliorer l'auto-efficacité dans la conception des ressources et des activités grâce à l'auto-formation. L'Environnement numérique de travail (ENT) semble plus facile à intégrer dans les pratiques des enseignants que d'autres outils numériques. Il occupe en effet une place privilégiée en raison de son statut d'environnement de travail partagé avec les élèves et les parents, mais nécessite d'être reconçu sur certains aspects : la personnalisation, la rationalisation du parcours utilisateur et les services d'auto-formation.

Le deuxième article, rédigé par Maëlle Planche, Cédric d'Ham, Christian Hoffmann, Nadine Mandran, Isabelle Girault, Claire Wajeman, Nicolas Balacheff et Patricia Marzin, et intitulé « Caractérisation des transformations pédagogiques impulsées par une plateforme numérique », a pour objectif d'analyser les transformations pédagogiques liées à la plateforme numérique LabNbook, dédiée à l'enseignement des sciences expérimentales. Les résultats de l'évaluation longitudinale, conduite auprès d'enseignants du supérieur, pointent le rôle joué par LabNbook pour soutenir les pédagogies actives déjà en place et pour impulser des transformations dans les activités pédagogiques proposées aux étudiants. Une évolution des objectifs d'apprentissage des enseignants, notamment au niveau disciplinaire, et un questionnement de l'alignement pédagogique sont également observés. Cet article propose pour conclure une caractérisation en quatre niveaux de la transformation pédagogique induite par l'utilisation prolongée d'un outil numérique, que les auteurs recommandent de confirmer par des études supplémentaires.

Le troisième article, rédigé par Gaëlle Lefer Sauvage et intitulé « Pratique contextualisée des tablettes tactiles : une intentionnalité empêchée ? », réinterroge les rapports contextuels, voire culturels, dans la conception de l'intentionnalité de pratique des tablettes tactiles par les professeurs des écoles stagiaires (PES) de l'académie de Mayotte (académie caractérisée par des contraintes et dynamiques spécifiques), à partir d'une enquête par

questionnaire (87 réponses). Sur la base d'analyses de profils, l'intentionnalité est expliquée en partie par l'importance du sentiment de compétences des PES vis-à-vis de leur formation universitaire. Cette explication reste tempérée par le poids du contexte technique et des variables psychologiques propres à chaque individu. Des analyses lexicométriques permettent de comprendre des usages et des besoins contextualisés des pratiques des tablettes tactiles. En conclusion, la modélisation de l'intentionnalité est débattue, en considérant en particulier les liens entre l'intention d'utilisation et les contextes réels d'application dans les écoles. Cette discussion vise en particulier les limites des enseignements universitaires actuels des PES, qui ne permettent pas une construction identitaire professionnelle adaptée vis-à-vis de la maîtrise et de l'usage des TICE.

2.2. Évaluation de rétroactions ou remédiations automatiques dans les EIAH

L'article rédigé par Sébastien Jolivet, Amel Yessad, Mathieu Muratet, Elann Lesnes, Brigitte Grugeon-Allys et Vanda Luengo, et intitulé «Rétroactions dans un environnement numérique d'apprentissage: modèle de description et décision» a pour objectif de proposer une formalisation permettant d'une part, de décrire et choisir automatiquement une rétroaction épistémique et, d'autre part, de pouvoir analyser de façon plus fine les rétroactions proposées par différents environnements informatiques d'apprentissage ainsi que leurs effets. Dans cet article, la rétroaction est définie comme une intervention faite par un système informatique suite à l'exécution d'une tâche d'apprentissage. Cet article introduit deux modèles : un modèle de description des rétroactions épistémiques et un modèle informatique de décision de ces rétroactions. Le modèle de description est fondé sur des connaissances didactiques et a pour objectif d'être suffisamment explicite pour aider à la décision automatique des rétroactions. Le modèle informatique de décision combine des connaissances expertes et un algorithme d'apprentissage par renforcement. La faisabilité de l'approche est évaluée avec la réification du modèle et son intégration à une implémentation du modèle décisionnel. Sur cette base l'article propose différentes perspectives de poursuite du travail : utiliser le modèle pour étudier des environnements numériques d'apprentissage ou aider à leur conception, et contrôler et valider le modèle en situation écologique.

Les deux derniers articles présentent des évaluations en situation pédagogique de deux EIAH intégrant des principes de rétroaction pour favoriser l'auto-régulation des apprenants. En effet, différents travaux de recherche montrent que la capacité à auto-réguler son apprentissage a un impact significatif positif sur les résultats scolaires.

L'article rédigé par Laëticia Pierrot, Christine Michel, Julien Broisin, Nathalie Guin, Marie Lefevre et Rémi Venant, intitulé «Évaluation de l'utilité et de l'utilisabilité du service COMPER pour soutenir l'autorégulation dans le travail en autonomie», a pour objectif d'évaluer l'utilisabilité et la pertinence de combiner deux outils, utilisables en présence ou à distance, pour soutenir les stratégies d'autorégulation des étudiants en s'appuyant sur l'approche par compétences: l'accès à des exercices pour le renforcement des compétences et différentes visualisations du profil des compétences développées. Les visualisations des profils de compétences s'appuient sur les principes des *Open Learning Model* (OLM) et des tableaux de bord, elles correspondent à des outils d'awareness de l'état des connaissances de l'apprenant à partir de son activité dans le cours. Au regard de la complexité d'usage de ces types d'outils, l'analyse de leur combinaison en situation pédagogique vise à apporter des réponses sur la manière dont il est recommandé de les mobiliser pour répondre aux besoins de tous les profils d'apprenants en termes d'auto-régulation: décrocheur, suiveur, appliqué solitaire et efficace. L'évaluation a été réalisée à partir de questionnaires, entretiens et traces d'activité, auprès de 181 étudiants de DUT1 Informatique entre 2020 et 2021. Les résultats montrent qu'en dépit d'une utilisation restreinte, le service est dans l'ensemble jugé utile et utilisable, mais de manière différente en fonction des profils autorégulés des étudiants. Les services sont jugés comme pertinents par les étudiants en situation de travail en autonomie, et ils viennent répondre aux besoins de ceux qui ont développé peu de stratégies autorégulatrices.

Le dernier article de ce numéro spécial est rédigé par Thomas Sergent, Morgane Daniel, François Bouchet et Thibault Carron, et est intitulé «Détection de déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité et remédiation dans un EIAH». Il présente une étude visant à détecter des déficits d'auto-régulation de l'apprentissage pour de jeunes élèves, dans le contexte d'une application web d'apprentissage de la lecture. À partir des réponses de 467 116 élèves à deux questions évaluant la difficulté perçue et la difficulté voulue, cet article propose une définition opérationnelle de différentes formes de déficits et mesure ensuite l'impact de deux stratégies

de remédiation de l'auto-évaluation et de l'auto-efficacité : l'utilisation d'une jauge (resp. un enregistrement audio) montrant (resp. énonçant) le nombre de réponses correctes et incorrectes pour aider les élèves à évaluer leur performance réelle lors des réponses aux énoncés d'auto-régulation. Les résultats montrent : (a) une réduction significative des déficits d'auto-évaluation lorsque les réponses étaient soutenues par une jauge visuelle, (b) une réduction significative des futurs déficits d'auto-évaluation lorsque l'on donne aux élèves un feedback audio les aidant à prendre conscience de leur déficit et à y remédier. Ces résultats soulignent la possibilité d'étayer les compétences d'apprentissage autorégulé dans une application Web dès le plus jeune âge, tout en apprenant une autre compétence.



Pratiques des enseignants durant le confinement lié à la COVID-19 : niveaux et facteurs d'intégration du numérique dans les écoles et perspectives pour le développement des usages

► **Christine MICHEL, Laëticia PIERROT** (Université de Poitiers, Unité de recherche Techné)

■ **RÉSUMÉ** • L'objectif de cet article est d'analyser, à partir d'une enquête (441 réponses), les pratiques numériques mises en œuvre par les enseignants d'école primaire et de collège, lors du confinement du printemps 2020. Cette étude montre que les enseignants ont de manière marginale adapté leurs pratiques et innové, mais qu'une évolution significative nécessite un meilleur accompagnement. Différentes perspectives basées sur une reconception des environnements numériques de travail (ENT) sont proposées pour le faire.

■ **MOTS-CLÉS** • intégration du numérique, pratiques pédagogiques, ENT, modèle d'appropriation, usages numériques.

■ **ABSTRACT** • *This paper examines a survey of the digital practices implemented by French primary and secondary school teachers during the spring 2020 lockdown. Results show that teachers have marginally adapted their practices and innovated, but that a significant evolution requires better support. We propose some improvement perspectives based on a redesign of virtual learning environments (VLE) to keep developing digital uses.*

■ **KEYWORDS** • *Technology Integration, Teaching Practices, VLE, Appropriation Model, Digital Uses.*

1. Introduction

L'épisode de pandémie lié à la COVID-19 a provoqué la fermeture des écoles françaises en mars 2020. Dans ce contexte, et dans le but d'assurer une continuité pédagogique, les activités d'enseignement et d'apprentissage, initialement prévues pour se dérouler en présentiel, ont basculé à distance en intégrant plus ou moins le numérique. L'intégration du numérique dans les pratiques professionnelles des enseignants peut être caractérisée par son utilisation de manière efficace et efficiente (Kaikai, 2014). Les recherches sur la mise en œuvre de la modalité à distance révèlent qu'elle repose sur des fondements pédagogiques similaires à celle en présence, mais le fait de passer par le biais d'outils numériques transforme la formation (Charlier *et al.*, 2006 ; Gérin-Lajoie *et al.*, 2019 ; Maulini, 2020). Du côté des élèves, la distance tend à renforcer les inégalités entre eux, principalement lorsque l'activité d'apprentissage repose sur une autonomie forte (Charlier *et al.*, 2006 ; Maulini, 2020). Pour les enseignants, la distance peut contribuer à une redéfinition de leur rôle (d'enseignant à accompagnant ou animateur) et surtout une diversification des moyens pédagogiques et techniques (Gérin-Lajoie *et al.*, 2019). Cela rejoint le constat fait par Félix et ses collègues (2020), d'un « bricolage héroïque » avec les moyens disponibles observés chez les enseignants.

La disponibilité effective des moyens techniques est donc l'un des premiers éléments expliquant l'intégration du numérique dans les pratiques pédagogiques des enseignants. Il n'est pas le seul : le rapport sur le numérique à l'École de la Cour des comptes (2019) montre qu'en dépit d'un déploiement croissant des services et ressources numériques, les usages des enseignants qui en découlent restent limités. En particulier, l'utilisation qui est faite de l'environnement numérique de travail (ENT), solution institutionnelle regroupant des outils et services dans un espace numérique unique à l'échelle d'un établissement scolaire (Bruillard, 2011), a fait l'objet d'études qui montrent des usages restreints à quelques services (la messagerie, le cahier de textes) pour quelques finalités (communiquer ou partager des ressources). L'un des principaux avantages identifiés par les usagers de l'ENT est sa capacité à faire le lien entre les différents acteurs susceptibles d'accompagner les enfants dans leurs apprentissages : les enseignants et autres personnels éducatifs d'une part, les parents d'autre part (OECD, 2020).

L'objectif de notre travail est de décrire l'expérience de continuité pédagogique des enseignants concernant l'usage du numérique en général et de l'ENT en particulier durant cette période de mars à juin 2020. Au-delà de contribuer à des études longitudinales sur l'intégration du numérique dans et pour l'éducation, notre objectif est d'identifier comment l'injonction de fournir un enseignement à distance a joué sur les dynamiques d'appropriation des enseignants. Notre première question de recherche est de déterminer quelles

tâches ont été mises en œuvre par les enseignants et quels moyens ont été utilisés : l'ENT, d'autres outils numériques ou des outils non numériques (Q1). Notre seconde question de recherche consiste à décrire et expliquer le niveau d'intégration numérique (Q2). Plus globalement, nous cherchons à déterminer quelles leçons peuvent être tirées de cette expérience pour formaliser des stratégies d'accompagnement adaptées aux besoins des enseignants afin de favoriser le développement des technologies numériques dans les écoles (Q3).

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé une enquête de mai à juin 2020 en collaboration avec l'entreprise *Open Digital Education*. En effet, nous avons diffusé sur l'ensemble des territoires français, *via* les deux solutions d'ENT de l'entreprise (One pour l'école primaire, Neo pour le collège ou le lycée), un questionnaire aux enseignants, parents et élèves. Plus de 5000 réponses ont été collectées. Dans cet article, nous proposons une analyse des 441 réponses des enseignants des 1^{er} et 2^d degrés. Cette analyse est précédée d'un état des recherches sur l'analyse des usages numériques chez les enseignants (section 2) et permet de dresser un bilan des usages sur la période du premier confinement (section 4). Sur cette base nous proposons une analyse de l'intégration réalisée et des pistes pour la favoriser dans le futur (section 5).

2. L'intégration du numérique dans les pratiques pédagogiques des enseignants

2.1. Des usages numériques limités

En temps ordinaire, si en dehors de la classe, pour préparer les cours notamment, l'utilisation du numérique par les enseignants est répandue, elle demeure limitée dans la salle de classe (MENJS, 2019). Les causes sont multiples.

L'une des principales conclusions de l'Enquête européenne sur les TIC dans l'éducation dans les écoles (European Commission, 2019) est le lien constamment démontré entre l'expérience des enseignants et l'utilisation de la technologie. La plupart des enseignants qui intègrent des outils numériques dans leurs classes ont au moins six ans d'expérience dans l'enseignement. Interrogés sur leurs compétences, ils ont déclaré se sentir plus confiants (score d'au moins 3 sur 4) avec les tâches de communication, d'information/littérature, de collaboration et de sécurité. Ils ont répondu se sentir moins confiants dans la création de contenu et la résolution de problèmes.

De plus, des manques ou dysfonctionnements matériels dans les établissements ne permettent pas aux enseignants de réaliser complètement les activités numériques imaginées (Jalal *et al.*, 2018), ils manquent de formations techniques, technopédagogiques et disposent d'illustrations d'usage limitées et on observe des inégalités d'accès ou sociales (Cour des comptes, 2019 ; MEN, 2013).

Outre ces variables externes, les croyances, les opinions et la diversité des technologies, les politiques d'intégration (Rashid *et al.*, 2021) ont un fort impact sur la détermination de l'utilisation ou de la non-utilisation des technologies. Dans le contexte français, 5 profils d'enseignants ont été identifiés en tenant compte de la fréquence d'utilisation et du bénéfice perçu des technologies. Le profil A décrit des enseignants utilisant le numérique ponctuellement, principalement en préparation de cours, alors que le profil E décrit des comportements plus réguliers, c'est-à-dire au moins des usages prescrits pour les élèves en autonomie au moins une fois par semaine (MENSR, 2016).

Pour autant, la méta-analyse conduite par Tricot et Chesné (2020) rend compte d'un effet plutôt positif du numérique sur les apprentissages, selon la fonction pédagogique qu'il remplit. C'est le cas de l'évaluation des apprentissages ou des activités d'enseignement à distance par exemple.

Le contexte de passage à distance de crise (Hodges *et al.*, 2020) débuté en 2020 a augmenté le recours au numérique, caractérisé par un effet « millefeuille » (Boudokhane-Lima *et al.*, 2021): les enseignants empilent les outils qui permettent de briser les barrières spatio-temporelles et facilitent la communication synchrone/asynchrone, pour mener à bien leurs activités (Awang *et al.*, 2018). Parmi les outils à disposition des enseignants, l'ENT a constitué une solution intégrée et institutionnelle déjà disponible.

2.2. Introduction des ENT dans les écoles françaises

En 2006, le ministère français de l'Éducation a proposé un cadre pour déployer une solution conçue pour réunir tous les acteurs de l'éducation dans un même environnement. Sur la base de ce cadre, des éditeurs privés ont déployé des solutions ENT dans les écoles primaires et secondaires.

Si la solution regroupe une variété de services et de ressources, les usages qui se sont développés sont circonscrits à certaines activités ou fonctions: la messagerie et le cahier de textes restent les services globalement les plus utilisés, parce qu'ils permettent de reproduire par un autre moyen des pratiques traditionnelles déjà existantes (Poyet et Genevois, 2012). Le sentiment de charge de travail supplémentaire, le manque d'utilisabilité de certains services comme le forum (Pacurar et Abbas, 2015; Prieur et Steck, 2011) ou la vision négative qu'en ont les enseignants peuvent expliquer des usages peu développés (Schneeweile, 2014). Cette solution vient aussi en concurrence des solutions « bricolées », préférées par les enseignants les plus passionnés (Schneeweile, 2014), car existant avant l'arrivée de l'ENT (Daguet et Voulgre, 2011). De plus, les stratégies de déploiement de l'ENT suivent la volonté ministérielle d'homogénéiser des services, au détriment d'une mise en correspondance des besoins des usagers et des fonctionnalités de l'outil (Bruillard, 2011; Puimatto, 2006). Pour autant, de nouvelles pratiques émergent (Hanna et

Charalampopoulou, 2019) et l'ENT construit de nouvelles formes de valorisation du travail des enseignants (Codreanu *et al.*, 2017). L'ENT semble donc pouvoir contribuer à mettre en place des activités dans et en dehors de la classe (MEN, 2013).

2.3. L'observation des usages numériques et des pratiques pédagogiques

L'observation des usages numériques des enseignants sur l'ENT vise différents objectifs : produire des études descriptives des utilisations, identifier et expliquer les facteurs qui conditionnent les usages/non-usages, ou des effets liés aux usages, ou bien modéliser ou formaliser les dynamiques d'appropriation.

Les enquêtes par questionnaire sont représentatives, car à grande échelle, des tendances générales pour une population. En ce sens, elles sont utiles pour produire des études descriptives ou des modèles de l'appropriation. Elles se composent généralement d'une partie déclarative des caractéristiques sociodémographiques de l'individu, son parcours professionnel, son environnement de travail (en intégrant son équipement informatique) et d'une partie déclarative des usages réalisés concernant tel ou tel type de service ou de technologie. Des critères complémentaires, identifiés dans les études plus globales de l'acceptation et de l'appropriation du numérique, peuvent être ajoutés. L'analyse de l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité permet d'identifier tous les aspects « pratiques » de l'utilisation (Tricot *et al.*, 2003). Plusieurs des études citées dans la section précédente (Pacurar et Abbas, 2015 ; Prieur et Steck, 2011 ; Schneeweile, 2014) utilisent ces facteurs pour expliquer les usages/non-usages des enseignants. Le fait que de nombreux tests standardisés existent concernant l'utilité et l'utilisabilité (Finstad, 2010) facilite leur analyse par des questionnaires. Les analyses opérées dans ces études, surtout dans une perspective de modélisation, sont globalement inspirées des recherches en sociologie des usages sur la diffusion des innovations cherchant à modéliser le niveau d'adoption (Depover et Strebelle, 2007). Ces méthodes sont également utiles pour appréhender l'intégration des technologies, afin de décrire et de comprendre la diffusion de l'innovation (Dogan *et al.*, 2021 ; Nelson *et al.*, 2019).

Ces méthodes restent questionnables sur au moins trois aspects pour lesquels nous proposons des adaptations.

(1) Ces études ne considèrent souvent que les services les plus utilisés ou les services les plus courants, laissant de côté les usages minoritaires, mais en cours d'émergence (Hanna et Charalampopoulou, 2019), ou les usages spécifiques à un service innovant présent uniquement sur quelques ENT. De plus, cette approche quantifiée des usages tend à écarter les finalités d'usage ou les motivations, qui contribuent pourtant à comprendre les objectifs des enseignants et à justifier le choix d'un service plutôt qu'un autre (Tricot et Chesné, 2020). Pour pallier cette

limite, nous proposons d'analyser l'ensemble des services existant sur un ENT et de croiser ces analyses avec, d'une part, des questions fermées relatives aux tâches réalisées pour atteindre différents objectifs, aux bénéfices observés (Codreanu *et al.*, 2017 ; DeLone et McLean, 2003) ou à la valeur construite dans l'usage (Michel *et al.*, 2014) et, d'autre part, des questions ouvertes de type « pourquoi » (Poyet, 2016).

(2) Certains critères sur les niveaux de compétences des enseignants sont mal formalisés. Nous proposons d'utiliser le modèle *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) (Mishra et Koehler, 2006) qui décrit les trois principaux champs de connaissance que les enseignants sont amenés à mobiliser lors de l'intégration d'une technologie (connaissances liées aux contenus à enseigner, celles sur la pédagogie et celles sur la technologie).

(3) Le caractère linéaire de ces modèles diffusionnistes ne permet pas de comprendre la progression des usages qui ne sont pas unifiés pour tous les services ou applications considérés (Poyet et Genevois, 2012). Pour pallier cette limite, nous proposons d'utiliser des processus de classification multidimensionnels potentiellement plus adaptés (Kozdras et Welsh, 2018 ; Poyet, 2016).

De manière à pouvoir positionner les résultats de notre étude comme un prolongement longitudinal des résultats des autres études, nous avons choisi d'utiliser la même méthode de recueil (questionnaire) et d'intégrer des questions sur les éléments classiquement observés. Pour fournir des diagnostics plus précis, nous avons complété le questionnaire en interrogeant les enseignants sur les sujets suivants :

- l'utilité des services et la qualité de conception de l'ENT,
- les tâches et les objectifs qui motivent l'utilisation des technologies,
- leur sentiment d'évolution en termes de motivation, d'auto-efficacité et de compétence au début et à la fin du confinement.

Nous proposons également d'utiliser des méthodes de classification multidimensionnelles pour explorer de manière globale et croisée l'ensemble des données.

3. Étude Open Digital Education-Nunc

3.1. Contexte de l'étude

L'enquête, conçue dans une optique d'évaluation et d'analyse des conditions d'appropriation du numérique, a été proposée aux utilisateurs de la solution d'ENT fournie par l'éditeur *Open Digital Education*. Le questionnaire a été administré et diffusé à grande échelle (cet ENT étant présent dans des académies en France métropolitaine et ultramarine) entre les mois de mai et de juin 2020.

L'invitation à répondre au questionnaire était proposée directement sur l'ENT. Le questionnaire comprend 3 parties (tableau 1) :

- la première porte sur le profil du répondant ;
- la deuxième porte sur l'expérience du numérique et de l'ENT :
 - exploitation du numérique/ENT pour la réalisation de l'activité, exprimé en fonction de tâches pédagogiques structurées selon l'approche envisagée (Kozdras et Welsh, 2018) ;
 - expérience de l'ENT, selon l'échelle d'utilisabilité UMUX¹ (Finstad, 2010) et les services préférés ; des questions ouvertes sont posées pour illustrer les avis ;
- la troisième partie porte sur l'expérience globale de la continuité pédagogique. Elle permet de collecter les ressentis exprimés pour le début et la fin du confinement, utilisés ensuite pour calculer les bénéfices/dégradations sur le plan personnel. Ces ressentis sont formulés en termes de :
 - motivation,
 - efficacité,
 - compétence, caractérisée selon les dimensions TPACK (Mishra et Koehler, 2006),
 - liens sociaux,
 - autonomie.

Les ressentis exprimés pour le début et pour la fin du confinement sont utilisés pour calculer les bénéfices/dégradations sur le plan personnel.

Tableau 1 • Structure du questionnaire

Section	Description
1 - Profil	Caractéristiques sociodémographiques (genre, âge, ancienneté, niveau d'enseignement, discipline)
	Caractéristiques de l'établissement (taille, privé/public, localisation, école/collège/lycée)
	Conditions du travail à la maison (nombre d'enfants en continuité pédagogique au foyer, aide pour gérer ces enfants)
2 - Numérique et ENT	Mode de réalisation des tâches pédagogiques ou de gestion (4 modes de réalisation, 24 tâches)
	Score de l'expérience avec l'ENT selon l'échelle UMUX (4 items, échelle en 7 points)
	Services ENT préférés (classement sur 25 services)
3 - Continuité pédagogique	Ressentis globaux au début et à la fin du confinement (12 items, échelle en 7 points).

¹ L'échelle UMUX (Usability Metric for User Experience) est une échelle d'évaluation de l'expérience utilisateur qui permet de mesurer la satisfaction et la facilité d'utilisation d'un service à travers un score UMUX.

En complément du questionnaire, des entretiens d'approfondissement et une collecte de récits d'expérience ont été organisés, à distance entre juin et juillet 2020, pour obtenir des illustrations d'usages et mieux appréhender les motivations, les finalités et les éventuels bénéfices exprimés (Michel *et al.*, 2021).

3.2. Participants

467 enseignants ont répondu au questionnaire. Seules 26 réponses (5 %) proviennent d'enseignants de niveau Lycée. Au regard de leur faible représentativité, nous avons choisi de ne pas les considérer dans cette étude. Le corpus d'analyse est donc composé de 441 réponses d'enseignants (279 à l'école primaire, 162 au collège). 79 % des répondants sont des femmes. 89 % des répondants sont âgés de 25 à 55 ans et 94 % occupent un poste permanent. 90 % des répondants ont plus de 11 ans de service dans le système éducatif national et 97 % travaillent dans des institutions publiques. Près du quart (24 %) des enseignants ont déclaré que moins de 5 % de leurs élèves n'avaient pas terminé les activités proposées, tandis que 14 % ont déclaré que la moitié ou plus de leurs élèves se trouvaient dans cette situation. Les réponses des enseignants proviennent de différentes régions de France avec une prédominance pour deux départements : la Somme (24 %) et la Martinique (10 %).

3.3. Analyse des données

Nous avons identifié les stratégies d'usage des enseignants (Q1) en dénombrant les réponses sur les modalités de réalisation (avec l'ENT ou d'autres outils, numériques ou non numériques) ou la non-réalisation de 24 tâches scolaires (section 2 du questionnaire) caractérisées par les six objectifs de niveau supérieur visés (conception, transmission, facilitation, vérification, communication et autoformation).

Une méthode de classification *K-means* à 5 niveaux a été suivie pour modéliser le niveau d'intégration de l'ENT et des autres outils numériques (Q2). Le calcul des *K-means* a porté sur des valeurs moyennes normalisées des déclarations d'utilisation des deux types de technologies regroupées (pour faire la moyenne) selon les objectifs de niveau supérieur. En effet, cette méthode considère chaque observation (ici les 441 enseignants) comme un point dans un espace vectoriel à k dimensions (ici 6 pour les six objectifs). Les valeurs sur chaque dimension correspondent à l'intensité d'utilisation de l'ENT (vs des outils numériques hors ENT) pour réaliser chaque objectif (ici les moyennes normalisées des usages pour chaque objectif). La classification *K-means* partage l'espace de données en n classes (ici $n = 5$) prédéfinies avant l'analyse, de telle manière que les variances à l'intérieur des classes soient minimales. Le nombre 5 a été choisi de manière à respecter les 5 niveaux d'intégration des technologies de la matrice TIM (Kozdras et Welsh, 2018) : entrée, adoption, adaptation, infusion, et transformation. Cette matrice décrit pour chaque niveau les usages

possibles des technologies selon le type d'apprentissage (actif, collaboratif, etc.) proposé par l'enseignant.

Une analyse de co-variance² (niveau de signification à 0,05) a été réalisée entre le niveau d'intégration et respectivement les variables profil, score d'expérience UMUX de l'ENT, expérience globale de continuité pédagogique (motivation, auto-efficacité, compétence, liens sociaux et autonomie). L'objectif était d'identifier s'il existait une relation linéaire significative entre le niveau d'intégration et les autres variables descriptives des enseignants. Toutes les analyses statistiques (analyses bivariées ou multivariées) ont été effectuées à l'aide d'Excel, *XLStat* et *Jmp*.

Les questions ouvertes n'ont pas été analysées à ce stade de l'étude, qui a un objectif global et exploratoire.

4. Résultats

4.1. Stratégies de réalisation des tâches professionnelles par les enseignants pendant le confinement

La figure 1 présente, pour le collège et l'école élémentaire, le pourcentage d'enseignants ayant réalisé 24 tâches professionnelles. Les enseignants ont indiqué si ces tâches étaient réalisées ou non, et si oui par quels moyens (ENT, outils numériques, outils non numériques). Les tâches sont réorganisées selon les 6 objectifs visés à plus haut niveau :

- Conception :
 - T1 - Adapter les activités pour certains élèves,
 - T2 - Créer des activités ;
- Transmission :
 - T3 - Mettre à disposition des cours, ressources,
 - T4 - Mettre à disposition les activités du jour,
 - T5 - Mettre à disposition des exercices,
 - T6 - Mettre à disposition des séquences d'activité,
 - T7 - Mettre à disposition des activités pédagogiques pour développer les interactions/la collaboration entre les élèves ;
- Animation :
 - T8 - Travailler avec la vidéo (YouTube, tutoriels, etc.),
 - T9 - Publier, écrire avec les élèves (journal, blog, pad, etc.),
 - T10 - Travailler à l'oral (fichiers audio, webradio, podcast, etc.),
 - T11 - Enseigner avec des applications spécifiques dédiées (Excel, Edumedia, Sesamath, Quidoo...),

² L'analyse de la co-variance ou ANCOVA fait partie de la famille des modèles linéaires généralisés. Sa spécificité est de mélanger des variables quantitatives et qualitatives pour expliquer une variable quantitative.

Christine MICHEL, Laëtitia PIERROT

- T12 - Organiser des classes virtuelles avec de la vidéo,
- T13 - Organiser des classes virtuelles avec des forums ;
- Vérification :
 - T14 - Réceptionner les productions des élèves,
 - T15 - Vérifier que le travail a été fait,
 - T16 - Évaluer les élèves ;
- Communication :
 - T17 - Gérer les demandes individuelles,
 - T18 - Maintenir le lien entre les élèves malgré la distance,
 - T19 - Organiser des points de suivi réguliers avec les familles,
 - T20 - Rendre visibles les questions de chacun ;
- Autoformation :
 - T21 - Coopérer entre enseignants de mon établissement,
 - T22 - Me former sur les technologies à utiliser,
 - T23 - Coopérer entre enseignants d'autres établissements,
 - T24 - Chercher des informations sur les activités à faire faire aux élèves.

Les comportements des enseignants de collège et d'école primaire sont globalement assez similaires.

Les tâches les plus réalisées relèvent de quatre objectifs (transmission, communication, conception et recherche d'information). Si l'on regarde plus en détail, la transmission des activités concerne des cours, des ressources et des exercices (T3, T5). Elle se fait plutôt avec l'ENT et unitairement (souvent au jour le jour) (T4). Les enseignants proposent moins souvent des séquences d'activité (T6) ou des activités à faire en groupe (T7). La communication est, de la même manière, plutôt réalisée avec l'ENT, pour maintenir le lien avec les élèves (T18) et gérer les demandes individuelles (T17). Elle se fait principalement de manière interpersonnelle, les enseignants ne partagent pas les questions et les réponses de façon collective (T20). L'autoformation se fait principalement par des recherches sur Internet (T24) et par des échanges entre enseignants du même établissement *via* l'ENT ou d'autres outils numériques (mails, téléphone) (T21). La conception d'activités (T2) se fait plutôt avec des outils accessibles sur Internet et peu avec l'ENT, sauf pour quelques enseignants du primaire. La vérification du travail des élèves (T14, T15, T16) se fait de la même manière, principalement avec l'ENT en collège et avec l'ENT et le numérique en primaire. Il n'y a pas de modalités privilégiées pour l'évaluation du travail des élèves.

Les tâches les moins réalisées sont des tâches d'animation. Les enseignants animent principalement les cours en utilisant des ressources vidéo. Les autres formes d'animation (écriture collaborative, travail à l'oral, classes virtuelles, utilisation d'outils spécifiques) restent moins développées, mais quand elles sont faites, l'ENT permet plutôt des animations d'écriture (T9) et les autres outils numériques des animations de classe virtuelle (T12, T13).

Objectifs	Tâches	Réalisation des tâches							
		Avec l'ENT		Avec le numérique (hors ENT)		Avec des outils non numériques		Non réalisation	
		Collège	Ecole primaire	Collège	Ecole primaire	Collège	Ecole primaire	Collège	Ecole primaire
Conception	1-Adapter les activités pour certains élèves	41%	38%	40%	42%	7%	13%	11%	6%
	2-Créer des activités	14%	27%	74%	63%	8%	7%	4%	3%
Transmission	3-Mettre à disposition des cours, ressources	73%	79%	24%	18%	1%	1%	2%	2%
	4-Mettre à disposition les activités du jour	71%	78%	22%	16%	1%	2%	6%	4%
	5-Mettre à disposition des exercices	72%	75%	23%	21%	2%	3%	2%	2%
	6-Mettre à disposition des séquences d'activité	61%	62%	23%	21%	4%	4%	12%	13%
	7-Mettre à disposition des activités pédagogiques pour développer les interactions ou la collaboration entre les élèves	42%	51%	18%	19%	2%	4%	38%	26%
	8-Travailler avec la vidéo (youtube, tutoriels, etc.)	39%	57%	43%	33%	0%	1%	18%	10%
	9-Publier, écrire avec les élèves (journal, blog, pad, etc.)	33%	67%	15%	7%	2%	1%	49%	25%
Animation	10-Travailler à l'oral (fichiers audio, webradio, podcast, etc.)	24%	36%	36%	32%	1%	2%	40%	30%
	11-Enseigner avec des applications spécifiques dédiées (Excel, Edumedia, Sesamath, Quldooc...)	7%	5%	22%	20%	1%	0%	70%	75%
	12-Organiser des classes virtuelles avec de la vidéo	6%	5%	43%	61%	1%	1%	51%	33%
	13-Organiser des classes virtuelles avec des forums	6%	4%	26%	25%	1%	0%	67%	71%
	14-Réceptionner les productions des élèves	80%	55%	10%	32%	6%	6%	4%	8%
Vérification	15-Vérifier que le travail a été fait	61%	42%	20%	39%	10%	8%	9%	12%
	16-Évaluer les élèves	49%	12%	29%	34%	10%	18%	12%	36%
	17-Gérer les demandes individuelles	77%	59%	14%	33%	6%	5%	4%	3%
Communication	18-Maintenir le lien entre les élèves malgré la distance	67%	58%	22%	36%	4%	2%	7%	4%
	19-Organiser des points de suivi réguliers avec les familles	44%	29%	24%	46%	14%	19%	18%	6%
	20-Rendre visibles les questions de chacun	31%	30%	9%	14%	5%	6%	54%	50%
Auto-formation	21-Coopérer entre enseignants de mon établissement	49%	17%	38%	61%	7%	15%	6%	7%
	22-Me former sur les technologies à utiliser	11%	13%	67%	69%	4%	2%	18%	16%
	23-Coopérer entre enseignants d'autres établissements	15%	5%	39%	38%	3%	5%	43%	52%
	24-Chercher des informations sur les activités à faire aux élèves	6%	4%	77%	85%	10%	8%	6%	3%

Figure 1 • Pourcentages d'enseignants ayant réalisé des tâches selon le type d'établissement et les outils

4.2. Intégration des technologies dans les pratiques des enseignants

4.2.1. Niveaux d'intégration des technologies

La figure 2 présente les niveaux d'intégration de l'ENT et des autres outils numériques, selon la méthode des *K-means*, pour réaliser les 6 objectifs présentés précédemment. Ainsi, chaque niveau (ou classe) regroupe les enseignants ayant un comportement similaire en termes d'usage de l'ENT (vs des autres outils numériques) pour réaliser les objectifs. Les niveaux d'intégration sont décrits selon l'intensité de la réalisation des objectifs (de 0 à 1, 0 lorsqu'aucune des tâches de l'objectif de haut niveau n'est réalisée, 1 lorsque toutes les tâches de l'objectif de haut niveau sont réalisées). Ils sont ordonnés par ordre croissant de moyenne d'intensité d'utilisation des outils tous objectifs confondus. La figure 2 présente aussi le nombre d'enseignants dans chaque niveau. La figure 3 décrit le nombre d'enseignants selon les deux niveaux d'intégration (ENT et autres outils numériques). Le paragraphe suivant décrit les stratégies des enseignants dans l'intégration des technologies.

Outils	Niveau d'intégration	Nb enseignants	Intensité d'utilisation (de 0 à 1)						Moyenne
			Auto-formation	Conception	Transmission	Vérification	Communication	Animation	
ENT	1	91	0,08	0,07	0,12	0,13	0,21	0,11	0,12
	2	68	0,07	0,00	0,77	0,10	0,31	0,27	0,25
	3	79	0,15	0,00	0,76	0,70	0,58	0,22	0,40
	4	64	0,13	0,63	0,83	0,17	0,48	0,34	0,43
	5	139	0,20	0,64	0,85	0,85	0,69	0,32	0,59
Numérique (Hors ENT)	1	103	0,32	0,07	0,04	0,06	0,09	0,13	0,12
	2	127	0,72	0,45	0,09	0,09	0,16	0,28	0,30
	3	73	0,60	1,00	0,14	0,16	0,22	0,33	0,41
	4	70	0,74	0,62	0,09	0,78	0,47	0,36	0,51
	5	68	0,68	0,85	0,84	0,67	0,57	0,50	0,69

Figure 2 • Nombre d'enseignants et intensité d'utilisation des outils (ENT, autres outils numériques) par objectifs, selon les niveaux d'intégration technologique

À partir de la figure 2, on peut voir que la stratégie d'intégration de l'ENT se fait en variant et en intensifiant les modalités d'interaction avec les élèves, dans un premier temps par la transmission de cours, de ressources, d'activités (niveau 1 à 2). Les niveaux 3 et 4 sont assez proches. Ils sont caractérisés par l'ajout d'objectifs de communication. En complément, au niveau 3, les enseignants intègrent la vérification du travail fait et, au niveau 4, la conception et l'animation d'activités. Le niveau 5 correspond à une intensification de ces 5 types d'objectifs et représente la plus grosse classe d'usage avec 139 enseignants (31 %). À tous les niveaux, les objectifs d'autoformation sont faibles. À l'inverse, les premiers niveaux d'intégration des technologies numériques (niveaux 1-2-3) servent principalement des objectifs de productivité pour les enseignants (Autoformation, Conception). Au niveau 4, les enseignants utilisent ces technologies pour la conception d'activités et la vérification de leur réalisation.

Au niveau 5, tous les objectifs sont réalisés. Les niveaux 1 et 2 représentent les plus grosses classes d'enseignants avec respectivement 103 et 127 enseignants, soit un total de 51 %.

En comparant l'intégration conjointe des deux moyens (figure 3), on observe 5 types de groupes d'enseignants.

Nb enseignants		Niveau intégration ENT					Total
		1	2	3	4	5	
Niveau intégration numérique (Hors ENT)	1	10	7	13	16	57	103
	2	10	9	11	17	80	127
	3	6	16	51			73
	4	2	34	3	30	1	70
	5	63	2	1	1	1	68
Total		91	68	79	64	139	441

Figure 3 • Nombre d'enseignants selon les niveaux d'intégration

En vert, 3 groupes représentant les comportements les plus observés : G1 comprend 57 et 80 enseignants utilisant l'ENT au niveau 5 et les autres outils au niveau 1 et 2, c'est-à-dire utilisant l'ENT pour l'interaction avec les élèves, les autres outils numériques pour l'autoformation et l'un ou l'autre pour la conception en fonction de l'activité ; G2 comprend 63 enseignants ayant un usage à niveau 5 uniquement des autres technologies et G3 comprend 51 enseignants ayant intégré les deux moyens au niveau 3, c'est-à-dire ne faisant pas d'animation, utilisant l'ENT pour la transmission, le contrôle et la communication, et les autres outils numériques pour l'autoformation et la conception. En jaune, un groupe (G4) de 93 enseignants présentant différents niveaux (de 1 à 4) d'intégration de l'ENT dans leurs pratiques, mais ayant une intégration faible ou consolidée (de 1 à 2) d'autres outils pour la conception et l'autoformation. En rouge, un groupe restreint d'enseignants (G5) utilisant l'un ou l'autre des outils pour tous les objectifs en fonction du contexte.

Nous avons cherché à identifier les facteurs expliquant ces niveaux d'intégration en procédant à des analyses de covariance (seuil de significativité à 0,05) avec les variables descriptives du profil, de l'avis, des usages et des ressentis (motivation, auto-efficacité, compétence, liens sociaux et autonomie) au début et à la fin du confinement (tableau 1). Les parties 4.2.2 et 4.2.3 décrivent ces facteurs en précisant le coefficient de corrélation linéaire r quand ils sont significatifs.

4.2.2. Facteurs d'intégration de l'ENT

Les variables contextuelles (caractéristiques de l'établissement) et sociodémographiques (âge, genre, ancienneté) ne contribuent pas de manière significative à expliquer le niveau d'intégration de l'ENT.

La variable qui a le plus contribué de manière significative à l'intégration de l'ENT est une opinion positive sur sa conception (UX) ($r=0,27$). D'autres variables contribuent de manière plus marginale : le fait, pour les enseignants, de savoir pouvoir compter sur une communauté quand ils ressentaient des difficultés ($r=0,15$), le fait de réaliser qu'ils pouvaient découvrir de nouvelles pratiques ($r=0,09$), qu'ils pouvaient évoluer professionnellement ($r=0,02$) et travailler de manière autonome ($r=0,07$), le sentiment que l'utilisation de l'ENT ne nécessite pas beaucoup d'efforts spécialement pour la conception de contenu ($r=0,05$), le sentiment qu'ils sont capables de produire des activités ($r=0,05$) et que les activités sont utiles aux élèves ($r=0,02$).

Cette expérience a favorisé la confiance des enseignants concernant leurs capacités professionnelles et leur efficacité. On voit donc que l'expérience utilisateur proposée par l'ENT est le facteur le plus important pour son intégration dans les pratiques. Les réponses portant sur l'expérience utilisateur montrent que cette dernière est dans l'ensemble bonne (score UMUX de 4,07 sur 7, car les enseignants le trouvent facile à utiliser et les fonctionnalités répondent à leurs exigences. L'importance de savoir construire des contenus se matérialise en termes d'intégration par les actions de transmission et de conception qui sont les pratiques les plus représentatives des niveaux d'intégration élevée, comme celles du groupe G1 décrit en 4.2.1. Mais ce score de 4,07 montre aussi que cette expérience reste frustrante pour beaucoup d'enseignants, qui rencontrent différents problèmes d'utilisation, en particulier au collège. En effet, la présence de la communauté, l'intérêt de l'outil pour l'évolution des pratiques professionnelles ou pour l'apprentissage des élèves sont des facteurs qui contribuent à la persévérance des enseignants à s'approprier l'ENT (comme ceux du groupe G4 qui centrent leurs usages sur l'ENT plutôt qu'explorer d'autres moyens numériques). Mais, l'analyse des réponses aux questions ouvertes montre qu'il persiste des problèmes intrinsèques. Par exemple, les enseignants citent les problèmes techniques d'accès aux plateformes observés pour tous les ENT au début du confinement. Ils expriment aussi leur frustration et celle des parents et des élèves, concernant les processus de travail avec les documents (taille de l'espace de stockage trop petite, processus de chargement des documents fastidieux, manque de notification ou d'accès direct au travail rendu par les élèves, contraintes sur le format du travail rendu en un seul fichier, absence d'une confirmation de lecture des ressources), l'ergonomie de l'accès aux applications (rationaliser/limiter les applications accessibles par défaut, faciliter l'accès, faciliter la bascule entre les applications) et le manque d'une application de classe virtuelle.

Les variables qui ont contribué le plus et de manière significative à la non-intégration de l'ENT sont un niveau élevé d'intégration des autres outils numériques ($r=-0,62$) et des difficultés avec l'utilisation des technologies numériques ($r=-0,39$). De manière plus marginale, mais quand même significative, l'intégration a été freinée par le sentiment que l'effort de production est trop important, en particulier

pour créer du contenu ($r=-0,05$), et aussi par la peur de perdre la relation avec les collègues ($r=-0,01$), ou les parents et les élèves ($r=-0,01$).

Le coefficient de corrélation $r = -0,62$ montre que lorsque l'intégration de l'ENT ou des autres outils est terminée (niveau 5), les enseignants ne gardent qu'une seule façon de travailler et n'adaptent pas leurs pratiques en fonctions du contexte. Ces résultats sont cohérents avec ceux de la figure 3 (groupes 1 et 2). Les difficultés matérialisées par le coefficient de $-0,39$ correspondent aux limites intrinsèques d'utilisation de l'ENT et sont liées à des problèmes, techniques ou de conception, décrits précédemment. Elles ont aussi joué sur la peur de perdre le contact avec les élèves et les parents, ou avec leurs collègues qui rencontraient les mêmes problèmes. Elles ont conduit les enseignants à utiliser des moyens qu'ils connaissaient déjà comme leur propre messagerie électronique, ou des moyens proposés par les élèves ou les parents comme Discord ou WhatsApp (Michel *et al.*, 2021). Ces enseignants appartiennent aux groupes 3 et 4 et ont des stratégies d'adaptation pour choisir la technologie la plus adaptée en fonction du contexte d'usage.

4.2.3. Facteur d'intégration du numérique

Comme pour l'ENT, les variables contextuelles et sociodémographiques ne contribuent pas de manière significative à expliquer le niveau d'intégration du numérique. Les variables qui contribuent le plus et significativement à l'intégration du numérique sont une non-intégration de l'ENT ($r=-0,62$) et le sentiment de ne pas avoir de difficultés avec les outils numériques ($r=-0,13$). De manière bien plus marginale, d'autres variables influent significativement sur l'intégration du numérique : le fait de considérer que l'activité est utile aux élèves, combiné à la peur de perdre le lien avec eux ($r=0,05$), le sentiment d'un effort minime nécessaire ($r=0,04$), et enfin une expérience positive de l'ENT combinée au fait de pouvoir compter sur une communauté ($r=0,04$).

Pour résumer, les facteurs les plus critiques d'intégration des ENT sont l'intégration d'autres outils dans les pratiques numériques et la qualité de conception qui conditionnent l'expérience d'utilisation de l'ENT. Réciproquement l'intégration du numérique est favorisée par l'autoformation et le fait de n'avoir pas su comment intégrer l'ENT. Ainsi, l'intégration du numérique et celle de l'ENT se font de manière conjointe, la première poussant la seconde sur l'innovation pédagogique, la seconde poussant la première sur l'organisation collective et collaborative de l'activité. La section suivante a pour objectif d'identifier plus précisément les utilisations qui sont faites de l'ENT, de manière à identifier les stratégies à mettre en œuvre pour mieux développer son intégration et ainsi stimuler l'intégration du numérique plus globalement.

4.3. Les utilisations de l'ENT

Pour affiner l'analyse de l'utilisation de l'ENT, nous avons examiné les services qui étaient préférés par les utilisateurs ayant un niveau d'intégration de

5 pour l'ENT en fonction des objectifs visés (figure 4). L'objectif est de caractériser les formes d'intégration élevée de l'ENT qui correspondent au groupe 1 de la figure 3. En vert sont mentionnées les valeurs supérieures ou égales au 3^e quartile (Q3 = 11) de la série de données.

Les résultats sont globalement cohérents avec les résultats des précédentes enquêtes concernant l'utilisation massive de la messagerie, du cahier de textes, du cahier multimédia et du blog (Daguet et Voulgre, 2011; Hanna et Charalampopoulou, 2019; Poyet, 2016). On peut observer, pour ces niveaux d'intégration avancée, une utilisation en forte progression du gestionnaire de notification, de la version mobile de l'ENT et du fil de nouveauté, ce qui confirme l'intérêt de l'ENT pour organiser l'activité collectivement. Les utilisations sont en cours de développement pour certains services: Exercice et évaluation, Compétences, Mur collaboratif, Présence et Réservation de ressources. Certains services commencent à être réutilisés pour la conception d'activités: le blog, le cahier d'exercices multimédia, l'exercice et l'évaluation, les compétences, le mur collaboratif. Ces services ont favorisé l'émergence de pratiques d'écriture collaborative avec les élèves ou la conception de séquences d'activités qui intègrent plus de ressources multimédias, ou de vérification. Néanmoins, des obstacles persistent pour réaliser des activités d'animation et d'autoformation. Les enseignants n'utilisent pas les fonctionnalités de communication et de collaboration de la plateforme pour s'entraider et peu d'entre eux utilisent le forum, la carte mentale ou le pad collaboratif proposé dans l'ENT pour faire de l'animation. Plus globalement, 12 services sur 25 sont sous-utilisés.

Services	Utilisation Globale	Nb utilisation par objectif					
		Animation	Communication	Vérification	Transmission	Conception	Auto-formation
Messagerie	128	11	77	128	105	34	3
Cahier de textes	95	10	64	95	78	23	3
Gestionnaire de notification	74	7	46	74	62	22	2
Cahier multimédia	70	5	43	70	57	24	1
Blog	61	6	42	61	52	17	1
Espace documentaire	53	4	34	53	44	18	2
Version mobile	48	4	31	48	42	13	2
Fil de nouveauté	42	4	28	42	32	9	2
Exercice et évaluation	27	0	10	27	20	11	1
Compétences	20	3	15	20	14	4	0
Mur collaboratif	12	4	9	12	8	6	0
Présence	11	2	9	11	10	2	0
Réservation de ressources	11	1	8	11	9	0	0
Wiki	10	0	7	9	8	4	0
Agenda	9	1	4	10	9	2	0
Annuaire	8	0	4	8	7	4	0
Carte mentale	7	1	4	7	6	3	1
Poste-fichier	7	1	5	7	6	2	1
Pad collaboratif	6	1	6	6	5	2	0
Forum	6	1	3	6	6	3	0
Bibliothèque d'activités	6	1	2	6	6	2	0
Carnet de bord	4	0	3	4	4	2	0
Pages	4	1	2	3	3	2	0
Actualité	3	0	1	4	3	0	0
Frise chronologique	2	0	1	2	2	1	0

Figure 4 • Utilisation des services de l'ENT par objectif

5. Leçons à retenir pour promouvoir l'utilisation du numérique dans les pratiques des enseignants

5.1. Les pratiques des enseignants pendant le premier confinement

Pour répondre à la première question de recherche (quelles tâches ont été mises en œuvre par les enseignants et quels moyens ont été utilisés), cette étude a montré que, dans l'ensemble, les comportements des enseignants étaient assez cohérents en termes de pratique avec ce que les études précédentes ont identifié : ils ont utilisé l'ENT principalement pour les tâches de communication et la transmission des activités (European Commission, 2019 ; Poyet et Genevois, 2012) et les autres outils numériques (ressources sur Internet et applications sur leur ordinateur) pour l'autoformation et la conception (Jalal *et al.*, 2018). Les enseignants ont principalement utilisé les technologies qu'ils connaissaient déjà, mais à l'instar de Pace *et al.* (2020), certains enseignants ont développé de nouvelles pratiques pour répondre au besoin impératif de rester en contact avec les élèves. L'utilisation d'Internet et d'applications personnelles a favorisé la découverte de nouvelles pratiques et de nouvelles ressources d'apprentissage (vidéo, documents texte, exercices) qui ont souvent été directement réutilisées ou adaptées pour créer de nouvelles activités. Les difficultés des élèves et des familles à utiliser l'ENT ont également conduit les enseignants à utiliser davantage leur courrier électronique personnel et leur messagerie instantanée. De plus, l'ENT a favorisé l'émergence de pratiques d'écriture collaborative avec les étudiants ou la conception de séquences d'activités qui intègrent plus de ressources multimédias, ou de vérification. En ce sens, la crise a conduit les enseignants qui étaient plus réticents aux technologies à des pratiques d'enseignement plus actives, collaboratives et engageantes. Cette expérience a rendu les enseignants plus confiants quant à leur efficacité personnelle et à la qualité de leur pratique professionnelle. Comme le rapporte Holm (2020), nous pensons que cette crise a déclenché une évolution significative des pratiques des enseignants, qui peut être pleinement réalisée avec une meilleure formation à l'utilisation des technologies pour l'éducation (Blume, 2020 ; Gouédard *et al.*, 2020).

Cependant, comme pour toutes les méthodes, la collecte de données par questionnaire envoyé *via* l'ENT peut avoir induit un biais ; les enseignants qui ont répondu peuvent également avoir été les plus impliqués dans les activités scolaires et dans l'utilisation de la technologie numérique en général. Mais la cohérence de nos observations avec d'autres études internationales nous amène à croire que ce n'est probablement pas le cas ou que le biais est limité.

5.2. Caractériser l'intégration du numérique

Pour répondre à la deuxième question (quels sont les niveaux d'intégration numérique), l'intégration des technologies numériques (hors ENT) et celle de l'ENT se font conjointement. L'intégration des technologies numériques a été plus efficace pour l'ENT que pour d'autres outils. De nombreux enseignants ont rapidement développé des pratiques couvrant plusieurs objectifs liés à leur activité, alors que moins d'enseignants ont pu le faire avec d'autres outils. Cependant, cette intégration n'aurait pas pu être réalisée sans l'utilisation d'Internet ou d'applications externes à l'ENT. Ces deux moyens stimulent la créativité des enseignants et leur capacité à concevoir de nouvelles activités ou à trouver des ressources adaptées aux besoins des élèves et des familles. Internet favorise l'utilisation de l'ENT vers l'innovation pédagogique (conception, animation), et l'ENT favorise l'organisation d'activités collectives et collaboratives (transmission, communication). Néanmoins, à partir du seuil d'intégration 3, un choix se fait pour les enseignants qui favorisent l'un ou l'autre des moyens pour réaliser l'ensemble de leurs pratiques. Peu d'enseignants ont des niveaux d'intégration élevés sur les deux moyens.

Ces observations sur l'intégration du numérique dans les pratiques des enseignants doivent être mises en perspective avec les résultats de l'enquête annuelle Profetic 2016 (MENSR, 2016). Les enseignants qui ont une pratique quotidienne des technologies, ENT ou autres outils numériques (dans cette étude, groupes 1 et 2), trouvent qu'il est facile d'accéder à des ressources en ligne qui peuvent expliquer leur capacité d'autoformation. Les enseignants du groupe 3 partagent le même niveau (niveau 3) d'intégration sur l'ENT et sur d'autres outils numériques, principalement parce qu'ils essaient d'adapter et de diversifier les activités selon les besoins des élèves et des familles. Enfin, le groupe 4 est similaire aux enseignants Profetic qui utilisent le moins la technologie numérique et sont le moins convaincus de sa pertinence. Pour ces profils, les ressources institutionnelles, telles que l'ENT, doivent être favorisées, car elles sont déjà disponibles et ne nécessitent pas d'équipement supplémentaire. Cela pourrait expliquer l'augmentation de l'utilisation de l'ENT, sans qu'il y ait une utilisation plus importante d'autres outils numériques dans ce groupe.

L'effet « millefeuille » (Boudokhane-Lima *et al.*, 2021), que nous observons aussi, ne nous semble pas si négatif sur le plan des pratiques et témoigne plutôt d'une bonne capacité d'adaptation des enseignants. Néanmoins, pour favoriser une intégration aux niveaux 4 ou 5, et limiter le sentiment de surcharge professionnelle, nous rejoignons Boudokhane-Lima *et al.* sur la nécessité de fournir aux enseignants des éléments complémentaires de formation en ingénierie pédagogique de manière à leur permettre de construire une analyse réflexive plus transversale de leurs pratiques instrumentées.

5.3. Promouvoir les technologies numériques dans les écoles

Différentes études mettent en évidence les besoins de formation et d'autoformation des enseignants pour mieux intégrer le numérique dans leurs pratiques (DeCoito et Richardson, 2018 ; Fourgous *et al.*, 2012). Notre étude montre (1) l'importance de créer de nouvelles ressources (activités, applications, documents...) accessibles sur Internet pour favoriser l'autoformation, ainsi que (2) les limites de l'ENT pour servir cet objectif et plus globalement son intégration dans les pratiques des enseignants. Il nous semble donc utile d'explorer la piste de la conception ou de la reconception des services de l'ENT, en particulier en termes d'ergonomie et de gestion documentaire, pour limiter les freins et les frustrations.

Considérant les freins sur les aspects ergonomiques, il serait intéressant, comme le recommande (Pace *et al.*, 2020), d'offrir aux enseignants les moyens de personnaliser les services de leur espace de travail personnel ou collectif, en sélectionnant/désélectionnant les services (sur le modèle des stores), et en proposant un modèle « par défaut » intégrant uniquement les services les plus pertinents. En complément, les enseignants devraient pouvoir paramétrer la mise en œuvre des services, par exemple concernant les notifications ou la synchronisation du stockage. L'ENT offrirait ainsi des utilisations plus flexibles et plus en adéquation avec les usages spécifiques des enseignants.

De plus, des études supplémentaires sur la continuité pédagogique montrent que les enseignants, les élèves et les parents sont souvent perdus entre les différentes façons possibles d'identifier, de réaliser, de transmettre ou d'obtenir un retour sur les activités pédagogiques (Genevois *et al.*, 2020 ; Rakotomalala Harisoa, 2020). Pour pallier ces problèmes de complexité, une reconception de l'architecture de l'information des ENT pourrait s'opérer sur la base d'une analyse des parcours utilisateurs. Cela permettrait d'identifier les moyens de mieux articuler les services de gestion de document, de notification, de communication, de production d'activité et de contrôle/vérification, en rationalisant l'accès aux services dans les espaces de travail, en redéfinissant les services par fonctionnalité (faire converger les multiples services d'alerte et de notification), mais aussi en optimisant certains traitements (synchronisation des ressources dans les espaces documentaires, type de notification/alerte orienté en fonction de l'activité). Les études complémentaires sur l'organisation de la continuité pédagogique montrent en effet que les enseignants, les élèves et les parents sont souvent perdus entre les différents moyens possibles d'identifier, de réaliser, de transmettre ou d'avoir un retour sur les activités pédagogiques.

La troisième stratégie de reconception est de mieux identifier et développer les moyens d'autoformation *via* l'ENT, en particulier sur les formes d'animation des formations. Si l'on observe les stratégies globales des enseignants (figures 1 et

2), l'autoformation se fait principalement par la recherche de ressources documentaires, puis par de la collaboration, dans l'établissement et dans une moindre mesure à l'extérieur de l'établissement. Actuellement, les seuls moyens d'autoformation que propose l'ENT sont la communication avec les pairs (messagerie) et la bibliothèque d'activités (service ouvert début mars 2020). Ce service nous semble extrêmement prometteur, mais peut être retravaillé pour accueillir, en plus des modèles d'activité réalisés par les enseignants, des ressources de formation ou des liens vers des ressources externes. Cette ouverture, concomitante avec une ouverture des profils utilisateur vers les acteurs académiques comme les enseignants référents, les Interlocuteurs académiques pour le numérique (IAN) ou les inspecteurs chargés de la mission numérique, permettrait d'agréger et de valoriser les actions de cette communauté autour des objectifs de formation, d'animation et d'innovation.

5.4. Conclusion et perspectives pour développer les usages de l'ENT

L'épisode de continuité pédagogique vécue au printemps 2020 a été l'occasion de traiter à nouveau la question de l'intégration du numérique dans les pratiques pédagogiques des enseignants français. Une étude réalisée auprès des usagers des ENT One et Neo a pu mettre en évidence des usages essentiellement à des fins de conception, de transmission, de communication et, dans une plus faible mesure, de vérification et d'autoformation. Les usages d'animation restent moins développés. En explorant la manière dont les enseignants intègrent les technologies numériques dans leurs pratiques, nous avons identifié deux logiques différentes: (1) diversifier les canaux de communication avec les élèves, en particulier *via* les notifications, et proposer des formes d'apprentissage plus actif, collaboratif et engageant; (2) améliorer l'auto-efficacité dans la conception des ressources et des activités grâce à l'autoformation. L'ENT semble plus facile à intégrer dans les pratiques des enseignants que d'autres outils numériques. Il occupe en effet une place privilégiée en raison de son statut d'environnement de travail partagé avec les élèves et les parents, tout en étant une solution institutionnelle, qui nécessite cependant d'être reconçu sur certains aspects: la personnalisation, la rationalisation du parcours utilisateur et les services d'autoformation.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le projet FUI AAP21 « REPI ».

RÉFÉRENCES

Awang, H., Aji, Z. M., Yaakob, M. F. M., Osman, W. R. S., Mukminin, A. et Habibi, A. (2018). Teachers' intention to continue using Virtual Learning Environment (VLE): Malaysian context. *Journal of Technology and Science Education*, 8(4), 439-452.

Blume, C. (2020). German teachers' digital habitus and their pandemic pedagogy. *Postdigital Science and Education*, 2(3), 879-905. <https://doi.org/10.1007/s42438-020-00174-9>

Boudokhane-Lima, F., Felio, C., Lheureux, F. et Kubiszewski, V. (2021). L'enseignement à distance durant la crise sanitaire de la COVID-19 : le faire face des enseignants en période de confinement. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, (22), article 22. <https://doi.org/10.4000/rfsic.11109>

Bruillard, É. (2011). Le déploiement des ENT dans l'enseignement secondaire : entre acteurs multiples, dénis et illusions. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (177), 101-130.

Charlier, B., Deschryver, N. et Peraya, D. (2006). Apprendre en présence et à distance. *Distances et savoirs*, Vol. 4(4), 469-496.

Codreanu, E., Michel, C., Bobillier-Chaumon, M.-E. et Vigneau, O. (2017). L'acceptation et l'appropriation des ENT (Espaces Numériques de Travail) par les enseignants du primaire. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 24(1), 13-49. <https://doi.org/10.3406/stice.2017.1724>

Cour des comptes. (2019). *Le service public numérique pour l'éducation : un concept sans stratégie, un déploiement inachevé* [synthèse du rapport public thématique]. Cour des comptes. <https://www.ccomptes.fr/system/files/2019-07/20190708-synthese-service-public-numerique-education.pdf>

Daguet, H. et Voulgre, E. (2011). Discours et pratiques autour des environnements numériques de travail - Utopie ou réalité ? Dans *Actes de la conférence Environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH 2011)* (p. 231-241). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02396535>

DeCoito, I. et Richardson, T. (2018). Teachers and technology: Present practice and future directions. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 18(2), 362-378.

DeLone, W. et McLean, E. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems*, 19(4), 9-30. <https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748>

Depover, C. et Strebelle, A. (2007). Une modélisation du processus d'innovation s'articulant sur une dynamique de réseaux d'acteurs. Dans M. Baron, D. Guin et L. Trouche (dir.), *Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage : conception et usages, regards croisés* (chap. 5, p. 137-160). Hermès.

Dogan, S., Dogan, N. A. et Celik, I. (2021). Teachers' skills to integrate technology in education: Two path models explaining instructional and application software use. *Education and Information Technologies*, 26, 1311-1332. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10310-4>

European Commission. (2019). *2nd survey of schools: ICT in education. Objective 1: benchmark progress in ICT in schools, final report*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/euodp/data/storage/f/2019-03-19T084831/FinalreportObjective1-BenchmarkprogressinICTinschools.pdf>

Félix, C., Filippi, P.-A., Martin, P. et Gebeil, S. (2020). *École et famille en temps de confinement. Et après ?* Les Cahiers pédagogiques (dossier 564). <https://www.cahiers-pedagogiques.com/Ecole-et-famille-en-temps-de-confinement-Et-apres>

Finstad, K. (2010). The usability metric for user experience. *Interacting with Computers*, 22(5), 323-327.

Fourgous, J.-M., Cotentin, P., Saguez, V., Taddéi, F., Rizzo, F., Capioux, A., Benhacoun, A. et Soulard, C. (2012). « Apprendre autrement » à l'ère numérique (Rapport de la mission parlementaire Fourgous sur l'innovation des pratiques pédagogiques par le numérique et la formation des enseignants). Ministère de l'Éducation nationale.

Genevois, S., Lefer-Sauvage, G. et Wallian, N. (2020). *Questionnaire d'enquête auprès des enseignants - Confinement et continuité pédagogique* [rapport de recherche]. Institut Coopératif Austral de Recherche en Éducation (ICARE). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02934483>

Gérin-Lajoie, S., Papi, C. et Paradis, I. (2019). *De la formation en présentiel à la formation à distance : Comment s'y retrouver ?* [communication]. Colloque international sur l'éducation 4.1, Poitiers, France. <https://r-libre.telugu.ca/1638/>

Gouëdard, P., Pont, B. et Viennet, R. (2020). *Education responses to COVID-19: Implementing a way forward* (OECD Education Working paper No. 224). <https://doi.org/10.1787/8e95f977-en>

Hanna, D. et Charalampopoulou, C. (2019). Travail collaboratif sur l'ENT et innovation dans les pratiques professionnelles des enseignants. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 63(1), 23-35.

Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T. et Bond, A. (2020). The difference between emergency remote teaching and online learning. *EduCause Review*. <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>

Holm, E. (2020, 10 décembre). *The Corona crisis has been a revelation for schools - but not a revolution - Interview de Jesper Tække, Per Fibæk Laursen et Larry Cuban* [entretien]. Danish School of Education, Aarhus Universitet. Récupéré le 25 juin 2021 de <https://dpu.au.dk/en/about-the-school/nyheder/single/artikel/the-corona-crisis-has-been-a-revelation-for-schools-but-not-a-revolution-1>

Jalal, G., Lachand, V., Tabard, A. et Michel, C. (2018). How teachers prepare for the unexpected: Bright spots and breakdowns in enacting pedagogical plans in class. Dans *Proceedings of the 13th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2018)* (p. 59-73). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01833057>

Kaikai, H. A. (2014). Appropriation des Technologies de l'Information et de la Communication au sein de l'Université marocaine : Perceptions des étudiants. *frantice.net*, 8. <http://frantice.net/index.php?id=861>.

Kozdras, D. et Welsh, J. (2018). Enter the matrix: A pedagogy for infusing technology. Dans *Proceedings of the Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (p. 536-541). AACE. <https://www.learntechlib.org/primary/p/182577/>

Maulini, O. (2020). *Que penser... de l'enseignement à distance ?* [rapport]. Université de Genève, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:142268>

MEN (2013). *Cycle de consultation des acteurs des ENT - Synthèse* [rapport]. Ministère de l'Éducation nationale. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/ENT/96/7/synthese_cycle_consultation_acteursENT_VF_274967.pdf

MENJS (2019). *PROFETIC 2018 - Connaître les pratiques numériques des enseignants*. (Rapport d'enquête). Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/ETIC_et_PROFETIC/51/8/Rapport_PROFETIC_2018_v8_1098518.pdf

MENSR (2016). *Synthèse de l'Enquête PROFETIC 2016 auprès de 5 000 enseignants du 2^d degré* [rapport d'enquête]. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/ETIC_et_PROFETIC/16/6/PROFETIC_2016_-_Synthese_648166.pdf

Michel, C., Bobillier-Chaumon, M. et Sarnin, P. (2014). Technology acceptance model: analyse of the value build through the user experience. Dans *Proceedings of the 2014 Ergonomie et Informatique avancée Conference - Design, Ergonomie et IHM: quelle articulation pour la co-conception de l'interaction (Ergo/IA '14)* (p. 130-137). <https://doi.org/10.1145/2671470.2671489>

Michel, C., Pierrot, L. et Solari-Landa, M. (2021). VLE limits and perspectives for digital integration in teaching practices. Dans T. De Laet, R. Klemke, C. Alario-Hoyos, I. Hilliger et A. Ortega-Arranz (dir.), *Technology-Enhanced Learning for a Free, Safe, and Sustainable World, Proceedings of the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021)* (p. 96-109). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86436-1_8

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

Nelson, M.J., Voithofer, R. et Cheng, S.-L. (2019). Mediating factors that influence the technology integration practices of teacher educators. *Computers & Education*, 128, 330-344.

OECD (2020). Strengthening online learning when schools are closed: The role of families and teachers in supporting students during the COVID-19 crisis. *OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19)*. <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/strengthening-online-learning-when-schools-are-closed-the-role-of-families-and-teachers-in-supporting-students-during-the-covid-19-crisis-c4ecba6c/>

Pace, C., Pettit, S. et Barker, K. (2020). Best practices in middle level quaranteaching: Strategies, tips and resources amidst COVID-19. *Becoming: Journal of the Georgia Middle School Association*, 31(1). <https://doi.org/10.20429/becoming.2020.310102>

Pacurar, E. et Abbas, N. (2015). Analysis of french secondary school teachers' intention to integrate digital work environments into their teaching practices. *Education and Information Technologies*, 20(3), 537-557.

Poyet, F. (2016). Généralisation des usages des ENT dans l'enseignement secondaire en France : analyse diachronique (2009-2014). *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 23(2), 9-32.

Poyet, F. et Genevois, S. (2012). Vers un modèle compréhensif de la généralisation des usages des ENT dans l'enseignement secondaire. *Revue française de pédagogie*, 181, 83-98.

Prieur, M. et Steck, P. (2011, mars). *L'ENT: un levier de transformation des pratiques pédagogiques pour accompagner les apprentissages du socle commun ?* [communication]. Colloque INRP, Lyon, France. http://ife.ens-lyon.fr/ife/ressources-et-services/ocep/dispositifs/mosco/ent-socle-colloque/at_download/file

Puimatto, G. (2006). Les réseaux numériques éducatifs, régulateurs, acteurs et vecteurs de l'évolution des pratiques et de l'organisation des établissements et de l'institution scolaires [thèse en sciences de l'information et de la communication]. Université Paris 13, France.

Rakotomalala Harisoa, N. A. (2020). Pratiques, confinement et besoins en formation des enseignants (rapport d'étude). Réseau Canopé.

Rashid, A. H. A., Shukor, N. A., Tasir, Z. et Na, K. S. (2021). Teachers' perceptions and readiness toward the implementation of virtual learning environment. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(1), 209-214.

Schneeweile, M. (2014). Représentation sociale d'un ENT dans l'enseignement secondaire: une étude pour comprendre et analyser les usages. *Carrefours de l'éducation*, 37(1), 211-226.

Tricot, A. et Chesné, J.-F. (2020). *Numérique et apprentissages scolaires - Rapport de synthèse*. Cnesco. http://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2020/10/201015_Cnesco_Numerique_Tricot__Chesne_Rapport_synthese.pdf

Christine MICHEL, Laëtitia PIERROT

Tricot, A., Plébat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G. et Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. Dans *Actes de la Conférence Environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH 2003)* (p. 391-402).



Caractérisation des transformations pédagogiques impulsées par une plateforme numérique

► **Maëlle PLANCHE** (CNP, Grenoble INP), **Cédric d'HAM**, **Christian HOFFMANN** (LIG, Université Grenoble Alpes), **Nadine MANDRAN** (LIG, CNRS), **Isabelle GIRAULT**, **Claire WAJEMAN**, **Nicolas BALACHEFF** (LIG, Université Grenoble Alpes), **Patricia MARZIN** (CREAD, Université de Bretagne occidentale)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article analyse le rôle joué par l'usage d'une plateforme numérique (LabNbook) sur les transformations des activités pédagogiques proposées à des étudiants du supérieur. Nous observons une évolution des objectifs d'apprentissage des enseignants, notamment au niveau disciplinaire. Les résultats montrent également que l'usage de LabNbook conduit les enseignants à interroger l'alignement pédagogique. In fine, nous proposons de caractériser la transformation pédagogique induite par l'utilisation prolongée d'un outil numérique.

■ **MOTS-CLÉS** • plateforme numérique, pédagogies actives, usages, transformation pédagogique, alignement pédagogique.

■ **ABSTRACT** • *This article analyzes the role played by the use of a digital platform (LabNbook) on the transformations of the pedagogical activities proposed to higher education students. We observe evolutions in the pedagogical objectives aimed by the teachers, notably at the disciplinary level. The results also show that the use of LabNbook leads teachers to question the instructional alignment. Finally, our results allow us to propose a characterization of the pedagogical transformation induced by the long-term use of a digital tool.*

■ **KEYWORDS** • *digital environment, active learning, usage, pedagogical transformation, instructional alignment.*

1. Introduction

Dans l'enseignement des sciences, une place importante est donnée aux pédagogies actives qui cherchent à accroître l'autonomie des étudiants et leur implication dans le processus d'apprentissage. Des études ont montré les avantages de ces pédagogies, que ce soit en termes d'apprentissage de concepts (Freeman *et al.*, 2014) ou d'acquisition de nouvelles compétences scientifiques (Etkina *et al.*, 2010). Les pédagogies actives impliquent que les étudiants et les enseignants gèrent de nouvelles tâches. Les étudiants doivent devenir plus autonomes dans la production de solutions et travaillent souvent en collaboration, au cours de longues séquences. Les enseignants doivent structurer, suivre et orienter le travail des étudiants tout en évitant d'imposer une méthode de résolution préétablie. Toutes ces tâches accroissent la complexité des séquences pédagogiques et font émerger le besoin de supports adaptés (Land *et al.*, 2012). C'est dans ce contexte que la plateforme LabNbook a vu le jour. Elle est le fruit de recherches menées en didactique sur les environnements informatiques pour l'apprentissage des sciences. La conception de la plateforme a été inspirée par le cadre des théories socioconstructivistes de l'apprentissage : la construction de connaissances résulte de la confrontation entre les connaissances de l'étudiant, ses perceptions du monde réel et les interactions qu'il entretient avec son environnement social. Suivant ces principes, LabNbook a été conçu pour aider les étudiants à mener des démarches expérimentales en interaction avec d'autres étudiants et sous la supervision de leurs enseignants (d'Ham *et al.*, 2021). À partir de 2017, LabNbook a été diffusé de façon massive, en particulier à l'université Grenoble Alpes et à Grenoble INP (plus de 3500 étudiants utilisateurs annuellement). Un volet d'évaluation conséquent a été mis en place pour déterminer si, conformément aux intentions initiales des concepteurs, la plateforme soutient les pédagogies actives, voire impulse la transformation des pédagogies mises en place par les enseignants et notamment vers des pédagogies actives.

La question des liens entre innovation technologique et transformation pédagogique est une thématique importante, non seulement dans l'espace public à travers les recommandations gouvernementales pour la rénovation des pratiques d'enseignement, mais également dans les recherches conduites depuis plus de vingt ans autour de l'impact des Technologies de l'Information et de la Communication pour l'enseignement. En témoigne également, le nombre de webinaires, d'appels à projets, à communication ou à publications parus ces dernières années. Mais si la notion apparaît fréquemment dans l'espace public, elle n'a pas fait l'objet d'une caractérisation précise dans les travaux sur le sujet. Cet article propose de répondre à deux questions : un outil numérique conçu pour soutenir à la fois l'apprentissage disciplinaire et les pédagogies actives, mais qui n'impose aucune démarche pédagogique spécifique, agit-il comme vecteur de transformation de la pédagogie des enseignants sur le long terme ? Si oui, comment caractériser les transformations ?

Nous commençons par établir un état de l'art sur les travaux ayant cherché à mesurer les liens entre innovation technologique et transformation pédagogique. Nous présentons ensuite les éléments contextuels relatifs à l'étude menée, puis les cadres d'analyse et la méthode de recueil des données déployés pour conduire cette évaluation. Nous abordons ensuite les résultats de l'évaluation, traités en deux temps : avant et après utilisation de la plateforme. Nous concluons enfin cet article par une discussion où nous proposons une caractérisation de la transformation pédagogique au regard des résultats de cette recherche.

2. État de l'art

Dès l'apparition des premiers ordinateurs dans les salles de classe, la question des liens entre innovation technologique et innovation pédagogique a été posée. De nombreux travaux de recherche, en France et à l'international, révèlent une opposition, toujours d'actualité, autour des effets du numérique sur les pratiques d'enseignement (Bernard et Fluckiger, 2019).

D'un côté, nous trouvons les partisans d'une forme de « déterminisme technologique » (Baron, 2014), soutenant l'idée selon laquelle les technologies seraient porteuses d'un pouvoir, presque automatique, de transformation des pratiques pédagogiques des enseignants (Bernard et Fluckiger, 2019). En France, cette représentation de la place du numérique dans l'enseignement est défendue dans plusieurs rapports et recommandations gouvernementales pour la rénovation des pratiques d'enseignement (Le Déaut, 2013 ; Bertrand, 2014 ; Dubrac et Djebara, 2015). Elle met l'accent sur les potentiels du numérique, envisagé de façon très globale, pour aider les enseignants à diversifier leurs méthodes pédagogiques, les modes d'accès aux contenus et aux services pédagogiques, et ainsi favoriser la transformation de la relation entre étudiants et enseignants dans l'objectif de la renforcer (Duguet et Morlaix, 2018). Un certain nombre de recherches, d'abord conduites dans les pays anglo-saxons, un peu plus tard en France, ont ainsi montré que l'usage du numérique en classe pouvait constituer un catalyseur de transformations de l'enseignement (Sandholtz *et al.*, 1997). En Angleterre, Roschelle *et al.* (2001) ont mis l'accent sur les apports positifs de certaines technologies et logiciels spécifiques pour transformer les contenus enseignés aux élèves et la manière de les leur enseigner. Aux États-Unis, une étude, visant à examiner l'évolution - en matière de compétences techniques, de connaissances, de pratiques pédagogiques générales et de pratiques liées à l'utilisation des ordinateurs - d'enseignants ayant suivi un programme de formation intensif, montre que ces derniers peuvent être amenés à utiliser la technologie d'une manière considérée comme plus « constructiviste », et ce, alors que leurs autres pratiques pédagogiques peuvent demeurer très transmissives (Matzen et Edmunds, 2007). En France, plusieurs recherches ont également défendu l'idée selon laquelle l'usage du numérique constituerait un levier pour transformer les pratiques d'enseignement propres à certaines disciplines (Amadiou, 2021 ; Delforge *et al.*, 2019).

À l'opposé de cette vision du numérique comme catalyseur du changement pédagogique, plusieurs travaux ont mis en évidence que, si transformation pédagogique il y a, celle-ci s'opère le plus souvent à la marge, et que le numérique n'entraîne pas nécessairement les innovations pédagogiques attendues (Cuban *et al.*, 2001; Zhao *et al.*, 2002; Tricot, 2017). Un certain nombre d'études ont montré que l'utilisation d'équipements et de logiciels informatiques en classe soutient plutôt qu'elle ne modifie profondément les modèles existants de pratiques d'enseignement. L'étude de Cuban *et al.* (2001) conduite dans deux écoles secondaires situées au cœur de la Silicon Valley en Californie a mis en évidence que malgré l'équipement « massif » des salles de classe en ordinateurs, la plupart des enseignants demeurent des utilisateurs occasionnels, voire des non-utilisateurs. Plus encore, lorsqu'ils utilisent les ordinateurs pour le travail en classe, leur utilisation contribue à maintenir, plutôt qu'à modifier, les modèles transmissifs de pratiques d'enseignement. En France, une recherche visant à comprendre l'impact de l'introduction massive des environnements numériques de travail (ENT) sur 238 enseignants de collèges, montre que leurs usages se sont finalement tournés vers la communication et l'échange d'informations, sans que se mette en place une réelle collaboration entre enseignants, pourtant initialement attendue (Hanna et Charalampopoulou, 2019). Une recherche-action menée au Québec a mis en évidence que l'implantation massive de tableaux numériques interactifs en éducation ne conduit à des innovations pédagogiques que parmi les quelques enseignants prêts à s'éloigner le plus de leur utilisation traditionnelle du tableau, pour engager leurs élèves dans des activités de co-construction des idées (Raby *et al.*, 2019). Certaines études ont cherché à identifier les raisons expliquant que l'introduction du numérique en classe ne conduise pas toujours les enseignants à innover. Plusieurs d'entre elles soutiennent ainsi que les innovations les plus éloignées des pratiques existantes ont moins de chances d'aboutir à une transformation, tout comme celles qui privent les enseignants d'autonomie pour la construction de leurs séquences d'enseignement et demandent l'intervention de personnels extérieurs (Zhao *et al.*, 2002). Ces résultats conduisent à plaider pour l'adoption d'une approche progressive et évolutive plutôt que révolutionnaire du changement. La question du temps nécessaire à la transformation pédagogique a souvent été abordée en filigrane dans les études ayant cherché à mesurer les effets de l'utilisation des technologies sur les pratiques enseignantes. Dans une étude expérimentale visant à comparer les changements de comportements des enseignants au fil du temps, Van Tassel-Baska *et al.* (2008) ont postulé que le changement pédagogique prenait au moins deux ans pour prouver son efficacité et inscrire définitivement la certitude de ses avantages pour l'apprentissage des élèves.

Bien que la question du lien entre usage du numérique et transformation pédagogique ait fait l'objet de nombreuses recherches depuis plus d'une vingtaine d'années, peu de théories ou de modèles d'analyse ont finalement émergé de ces travaux (Cros, 1997). Une autre difficulté qui apparaît à la lecture de ces articles est

l'absence d'éléments de définition et de cadrage sur, d'une part, la notion de transformation, d'innovation ou changement pédagogique et, d'autre part, la technologie elle-même, qui demeure très souvent abordée dans sa globalité.

Dans la plupart des travaux référencés ici, la question de la transformation pédagogique est appréhendée à partir de l'usage de termes comme « innovation », « changement » ou « transformation » pédagogiques. La difficulté majeure réside dans la caractérisation de ce que les auteurs entendent par ces termes, car introduire un outil numérique dans son enseignement peut déjà, en soi, être considéré comme une démarche de transformation pédagogique. Alors de quoi parle-t-on lorsque l'on parle de transformation pédagogique ? Sur quels éléments du contenu de l'enseignement, des pratiques ou de la réalisation pédagogique peuvent s'opérer des changements induits par l'usage de la technologie ? Dans bien des cas, la transformation est envisagée sur le plan d'une innovation dans les méthodes d'enseignement, à travers un changement de paradigme pédagogique, impliquant un « abandon du modèle transmissif centré sur l'enseignant » (Duguet, 2014). Dans plusieurs travaux auxquels nous avons fait référence (Cuban *et al.*, 2001 ; Roschelle *et al.*, 2001 ; Matzen et Edmunds, 2007), il s'agissait alors de savoir si l'usage de la technologie pouvait promouvoir l'étudiant et entraîner le passage d'un enseignement de type traditionnel et transmissif à un enseignement plus compatible avec les idées du constructivisme. Mais la plupart de ces recherches ne définissent pas précisément les critères retenus - et attendus - pour caractériser ces évolutions dans les pratiques des enseignants. De la même manière, peu de travaux envisagent les transformations des objectifs pédagogiques visés en termes de savoirs disciplinaires. Par exemple, si l'étude de Roschelle *et al.* (2001) questionne l'impact de certaines technologies sur les apprentissages disciplinaires, elle le fait sous le prisme de l'étudiant, peu sous celui des pratiques des enseignants qui définissent le contenu du savoir enseigné.

Si, dans ces travaux interrogeant le lien entre innovation technologique et innovation pédagogique, le concept d'innovation pédagogique demeure souvent flou, il en va de même de la manière d'aborder l'innovation technologique elle-même. La technologie est souvent envisagée de façon très globale - « le numérique », « l'ordinateur », les « ENT », etc. - et, lorsqu'il s'agit de technologies plus pointues, peu de liens sont véritablement établis entre les spécificités de la technologie étudiées - ses fonctionnalités, ses outils dédiés à l'exécution de certaines tâches précises, etc. - et les transformations pédagogiques pouvant être raisonnablement attendues.

Dans cet article, nous faisons l'hypothèse que les spécificités de la technologie peuvent soutenir des transformations pédagogiques variées, touchant à divers éléments de la séquence pédagogique : organisation des séances de cours, activités pédagogiques mises en place pouvant permettre de

tendre vers des pédagogies plus actives, contenus disciplinaires enseignés, rôle et place de l'enseignant dans la classe, etc. Comprendre la nature des transformations opérées grâce à la technologie, impose de revenir au potentiel de transformation porté par l'outil lui-même. C'est notamment par une étude longitudinale, impliquant de suivre les différentes phases d'instrumentation qui s'opèrent sur un temps relativement long (Van Tassel-Baska *et al.*, 2008; Mendoza *et al.*, 2010), que nous pouvons comprendre comment la fonction première de l'outil, ses différentes fonctionnalités et son potentiel sont éventuellement « détournés » au profit d'un usage adapté aux objectifs pédagogiques de l'enseignant ou, au contraire, exploités en vue de répondre à de nouvelles intentions pédagogiques.

3. Contexte de l'étude

Dans cette partie, nous présentons les éléments contextuels relatifs à l'étude menée, en lien avec (i) les spécificités de la plateforme numérique étudiée pouvant impulser des transformations au niveau des enseignements et (ii) les caractéristiques des situations d'enseignements pouvant être transformées par l'adoption de la plateforme.

3.1. La plateforme LabNbook

La plateforme numérique LabNbook a été conçue dans l'optique de fournir un support à la conduite de démarches expérimentales pour des étudiants travaillant collaborativement, sous la supervision de leurs enseignants (d'Ham *et al.*, 2021). De façon pratique, la plateforme propose des espaces partagés de production d'écrits scientifiques, ceux-ci pouvant être des rapports de projets, des comptes rendus de TP, des cahiers de laboratoire, des cahiers d'exercices, etc. LabNbook est ainsi utilisé pour enseigner les sciences expérimentales (biologie, chimie et physique) dans des situations très diverses : en travaux pratiques (TP), en pédagogie de projet, en modalité présentielle ou à distance, synchrone ou asynchrone, au lycée ou dans l'enseignement supérieur. Trois caractéristiques constituent la spécificité de LabNbook par rapport à d'autres plateformes numériques d'enseignement ou à des suites bureautiques en ligne : des outils disciplinaires d'écriture et d'apprentissage, le support du travail collaboratif et itératif, et une liberté pédagogique totale laissée aux enseignants.

LabNbook embarque *des outils disciplinaires d'écriture et d'apprentissage*. À la manière d'un notebook numérique, les écrits produits dans LabNbook sont composites, c'est-à-dire constitués d'une agrégation de documents. Ces documents peuvent être de quatre types : textes, schémas, protocoles expérimentaux et jeux de données (figure 1). Pour produire ces documents, quatre outils sont fournis aux étudiants.

Tous sont adaptés, plus ou moins fortement, à l'objectif principal de LabNbook qui est de soutenir les étudiants dans la mise en place ou le suivi d'une

démarche expérimentale : l'outil « texte » comporte un éditeur d'équations mathématiques et chimiques ; l'outil « schémas » incorpore des bibliothèques de dessins utiles pour certains domaines disciplinaires comme la mécanique des fluides ou la chimie organique ; l'outil « protocoles » permet d'écrire des protocoles expérimentaux avec un guidage plus ou moins poussé, selon les souhaits de l'enseignant ; pour finir, l'outil « jeux de données » permet de collecter des données expérimentales, de les afficher sur un graphique XY et de les modéliser avec une fonction mathématique paramétrée par ajustement des paramètres de la fonction. Les adaptations réalisées sur des outils existants ou des outils spécifiquement créés pour LabNbook ont été spécifiées au cours de travaux en didactique portant sur l'identification des besoins des étudiants pour produire des écrits scientifiques dans un contexte d'apprentissage. À ce titre, les outils « protocoles » et « jeux de données » permettent d'outiller les étudiants pour réaliser des tâches qui, du fait de leur complexité, ne sont généralement pas dévolues aux étudiants dans un enseignement expérimental : la conception d'une expérience et la modélisation de données expérimentales.

À la différence de la première caractéristique de LabNbook, la deuxième n'est pas liée aux aspects disciplinaires de l'enseignement des sciences expérimentales, mais au *support du travail collaboratif et itératif*. Dans la plateforme, les étudiants réalisent leurs travaux en équipe, chaque membre de l'équipe ayant des droits équivalents aux autres sur les contenus produits. Pour favoriser la collaboration, des outils de communication (messagerie, fils de discussion liés à chaque document produit) ainsi qu'un outil d'échange de ressources sont disponibles (figure 1). L'enseignant a, lui aussi, accès à la messagerie pour communiquer avec les étudiants, mais il possède surtout des outils spécifiques qui lui permettent de suivre le travail des étudiants et de leur proposer des rétroactions : accès à tout moment aux écrits des étudiants, annotation de ces écrits et affichage de tableaux de bord de suivi de l'activité des étudiants *via* différents indicateurs (ressources consultées, temps d'écriture active, importance de la collaboration, etc.).

Bien que la plateforme LabNbook ait été conçue à partir d'un modèle didactique (d'Ham *et al.*, 2021) et avec l'intention de soutenir les enseignements expérimentaux et les pédagogies actives, la troisième caractéristique de LabNbook est de ne pas imposer de démarche pédagogique préétablie ; elle laisse aux enseignants une *totale liberté pédagogique* pour définir leurs objectifs d'apprentissage et leurs stratégies d'enseignement. Dans LabNbook, une « mission » désigne une activité dévolue à des équipes d'étudiants. L'enseignant compose entièrement l'espace de travail de la mission en le structurant en différentes parties accompagnées de consignes de travail, en définissant l'accès des étudiants à certains outils et ressources et en étayant plus ou moins le travail à réaliser par la configuration initiale des outils d'écriture. LabNbook permet aux enseignants de scénariser leur enseignement de façon plus ou moins élaborée, cela allant du remplacement des comptes rendus papier lors de séances

de TP classiques, au guidage de démarches expérimentales complexes par exemple, lors de séances d'apprentissage par problème réparties sur plusieurs semaines (Hoffmann *et al.*, 2021).

Cycle-exp : Cycle expérimental
Etudiant A - Etudiant B - Etudiant C

1 - Problème
Description de la situation initiale

2 - Protocole expérimental
Protocole d'expérimentation - manipulation 1
Schéma du montage

3 - Données collectées
Position, Vitesse, Accélération, Energie potentielle, cinétique et mécanique

C	t [s]	X [mm]	Y [mm]	U0 [mm]	Vx [mm/s]	U_Vx_ [mm/s]	Ax [mm/s^2]	U_Ax_ [mm/s^2]	Vxx	axx
f()					$(X_{(+1)}-X_{(-1)})...$	$U0/(0.02*\sqrt{2}...$	$(Vx(+1)-Vx(-1))...$	$U0/(2*0.02^2)$	$Vx*1/10$	$Ax*1/10$
1	0	-67.847	1.1	0.06		2.121320344		75		
2	0.02	-64.484	1.053	0.06	172.325	2.121320344		75	17.2325	
3	0.04	-60.954	1.182	0.06	186.85	2.121320344				
4	0.06	-57.01	1.321	0.06	203.3	2.121320344				
5	0.08	-53.272	1.44	0.06	213.55	2.121320344				

Commentaires : Position, Vitesse, Accél...
Les commentaires sont partagés entre les membres de l'équipe. Ils ne sont pas visibles par l'enseignant.
J'ai fini la modélisation

Messages
Ajouter une conversation
[Biodiv] Avancement - Etudiant A, Etudia...
13/04 Conversation créée par Etudiant C
hello - Etudiant C, Etudiant D, Etudiant V, ...
21/12/20 J'ai déjà regardé les résultats de l...

$f(x) = a \exp(-\alpha x) \cos(\omega x + \phi) + b$ $a = 85.5$; $b = 2.7$; $\alpha = 0.01$; $\phi = 3.725$; $\omega = 3.333$ $\chi^2 = 1.108E+2 \pm 3.8E-2$
 $f(x) = a \cos(\omega x + \phi) + b$ $a = 85$; $b = 3$; $\omega = 3.33$; $\phi = 3.761$ $\chi^2 = 1.897E+4 \pm 3.8E-2$

Figure 1 • Structure d'un rapport étudiant sur LabNbook, avec les quatre outils d'écriture et les trois outils supports à la collaboration

3.2. Enseignements concernés par l'évaluation

Avec plusieurs milliers d'utilisateurs par an dans des lycées et des établissements d'enseignement supérieur, l'évaluation de LabNbook a pu être conduite en milieu écologique, selon une approche systémique, ce qui assure des résultats représentatifs d'une utilisation réelle.

Pour limiter les contours de l'évaluation, celle-ci a porté exclusivement sur l'enseignement supérieur. Un dispositif d'étude a été mis en place avec des enseignants-utilisateurs de l'université Grenoble-Alpes et de Grenoble-INP afin d'explorer l'impact de LabNbook sur leurs pratiques et sur celles des étudiants. À la différence du primaire et du secondaire où les enseignants sont soumis à des programmes nationaux prescrivant les objectifs et les compétences visés pour chaque niveau scolaire, les enseignants du supérieur bénéficient d'une liberté importante pour élaborer leurs séquences pédagogiques : ils ont la possibilité de définir eux-mêmes les objectifs d'apprentissage disciplinaires et transversaux visés dans leur enseignement, de construire les activités pédagogiques de leur choix et de définir les modalités d'évaluation des acquis, en cours ou à l'issue de leurs séquences pédagogiques. Ce contexte d'utilisation apparaît comme particulièrement approprié pour observer des transformations pédagogiques en lien avec l'usage de LabNbook qui, nous l'avons dit, offre des possibilités d'utilisation diverses.

4. Cadres utilisés pour l'évaluation

4.1. Les pédagogies actives

Afin d'évaluer l'aspect « actif » des pédagogies mises en place par les enseignants, nous avons retenu la caractérisation qu'en fait Denis Lemaître (2007) à partir de son analyse de 80 articles contenus dans les actes du colloque *Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur* (édition 2005). Il propose de caractériser le courant des pédagogies actives comme un mode d'apprentissage se démarquant « *d'une vision traditionnelle exclusivement centrée sur les connaissances à acquérir [...] pour privilégier un "apprentissage par les activités", et revendiquant une perspective socioconstructiviste prenant en compte la dimension collaborative des projets grâce à la juxtaposition des processus de communication et d'échange, des processus cognitifs et des processus opérationnels.* » (p. 82). Il n'est pas possible de dresser une liste exhaustive des activités et des organisations pédagogiques pouvant être proposées pour prétendre entrer dans le courant des pédagogies dites « actives », mais l'analyse citée ci-dessus permet de dégager quelques éléments souvent constitutifs de ce type de pédagogies, comme donner la possibilité aux étudiants de travailler en autonomie (en séances et hors séances), en collaboration avec d'autres étudiants, en ayant la possibilité d'évaluer eux-mêmes leurs erreurs ou de réitérer l'exécution de certaines tâches si besoin. Pour construire nos outils de mesure, nous avons finalement dégagé six critères (tableau 1) correspondant à la fois aux caractéristiques des pédagogies actives identifiées dans la littérature (première colonne) et aux spécificités de la plateforme pouvant les soutenir (seconde colonne).

Tableau 1 • Indicateurs de la nature des pédagogies mises en place en lien avec les outils et caractéristiques de LabNbook

Indicateurs de pédagogie active	Outils et caractéristiques de LabNbook
Les objectifs d'apprentissage et les compétences visés sont explicités aux étudiants.	Les enseignants peuvent intégrer des consignes et des documents ressources dans la mission.
Les modalités de résolution de problèmes sont déléguées aux étudiants.	Les enseignants peuvent structurer la mission de manière à guider plus ou moins le travail des étudiants. Les enseignants peuvent étayer plus ou moins le travail des étudiants en configurant les outils de rédaction.
Le travail collaboratif est encouragé	Les étudiants peuvent être mis en équipe pour travailler sur un même projet. Les étudiants ont accès à un fil de commentaires lié à chaque document produit.
Certaines tâches peuvent être réalisées en dehors des séances en présentiel.	Les étudiants peuvent travailler à distance, en synchrone ou asynchrone : les outils et les contenus sont accessibles en permanence pour tous ceux de l'équipe. Un outil de messagerie permet de gérer la communication à distance.
Le travail des étudiants est validé en cours d'activité (évaluation formative).	Les enseignants ont accès en permanence aux productions des étudiants et peuvent les annoter pour fournir des rétroactions.
Les étudiants peuvent travailler de manière itérative	Le suivi des équipes d'étudiants par les enseignants est facilité par un tableau de bord qui fournit des indicateurs sur le travail effectué. Les enseignants ont accès en permanence aux productions des étudiants et peuvent les annoter pour demander des améliorations. Les étudiants peuvent améliorer leurs productions plus facilement que si elles étaient écrites sur papier.

4.2. L'alignement pédagogique

Notre hypothèse postule que s'il y a transformation pédagogique, celle-ci n'est pas forcément limitée à une évolution sur l'axe des pédagogies plus ou moins actives. Nous avons ainsi cherché à déterminer quels éléments caractéristiques d'une situation d'enseignement pourraient se trouver impactés par l'usage du numérique. Nous nous sommes appuyés sur le modèle de l'alignement pédagogique (Biggs, 1996) qui décrit la nécessaire mise en cohérence de trois ingrédients lors de la construction d'une séquence pédagogique par un enseignant :

- Les objectifs d'apprentissage (OA) visés, définis comme l'ensemble des connaissances et des compétences que les étudiants doivent maîtriser au terme d'un enseignement. Nous proposons de différencier les objectifs pédagogiques selon deux catégories :
 - Les compétences disciplinaires, entendues comme l'acquisition de savoirs et de savoir-faire (concepts, méthodes de résolution de problème, techniques de laboratoire, étapes de la démarche expérimentale) propres aux disciplines expérimentales pour lesquelles a été conçue la plateforme. Dans la suite de cet article, nous parlerons d'objectifs d'apprentissage disciplinaires (OAD),

- Les compétences transversales, comme apprendre à communiquer avec les membres de son équipe, à organiser la répartition du travail, à prendre en compte les consignes données, etc. Ces compétences ne sont pas propres aux sciences expérimentales, mais leur acquisition dépend fortement des activités pédagogiques proposées dans les situations d'apprentissage. Nous parlerons d'objectifs d'apprentissage transversaux (OAT);
- Les activités pédagogiques (AP) proposées, caractérisées par l'ensemble des tâches assignées aux étudiants, les contraintes sur leur organisation (aspects collaboratifs notamment), la manière dont elles sont distribuées temporellement (séquençage des activités, choix des modalités synchrone ou asynchrone) et spatialement (travail à distance ou en présentiel) et l'accompagnement réalisé par les enseignants;
- L'évaluation des acquis à l'issue de la séquence.

Nous avons choisi de caractériser la transformation d'une séquence pédagogique induite par l'introduction de LabNbook en évaluant les modifications opérées par les enseignants sur les deux premiers ingrédients du modèle de l'alignement pédagogique. En effet, pour cette recherche, nous n'avons pas eu accès aux évaluations mises en place par les enseignants et n'avons donc pu mesurer leurs évolutions éventuelles avec l'usage de la plateforme. Cette limite s'explique en partie par le fait que LabNbook n'intégrait pas d'outil d'évaluation au moment de notre étude.

5. Méthodes

Nous l'avons vu, la question du temps nécessaire pour observer une transformation pédagogique est une question importante (Zhao *et al.*, 2002; Van Tassel-Baska *et al.*, 2008; Mendoza *et al.*, 2010). Outre la liberté dont bénéficient les enseignants pour élaborer leurs séquences pédagogiques, une autre particularité de l'organisation de l'enseignement supérieur, est que les séquences pédagogiques se déroulent généralement sur un semestre complet (soit environ douze semaines de cours), puis ne sont rejouées que l'année suivante avec de nouveaux étudiants. Ceci implique pour le chercheur d'attendre au moins une année universitaire pour observer d'éventuelles transformations pédagogiques induites par l'usage de la technologie. Pour répondre à cette nécessité d'intégrer la question du temps nécessaire à la transformation pédagogique, et ainsi pouvoir la mesurer, nous avons construit un *processus d'évaluation longitudinale* (PEL) (Mandran *et al.*, 2019; Planche *et al.*, 2019). Avant de décrire le PEL élaboré pour recueillir nos données, nous commençons par décrire brièvement la posture épistémologique adoptée pour conduire notre recherche.

5.1. Posture épistémologique

Pour la construction de notre évaluation et l'analyse de nos données, nous avons adopté une posture épistémologique inspirée de la sociologie

compréhensive de Max Weber (1971) qui vise la recherche du sens et des motivations à l'origine des comportements humains et constitutifs des actions dont il s'agit de rendre compte. Pour Weber, toute action est guidée par des intentions et des attentes subjectives dont il revient au chercheur de rendre compte. Dans cette optique, nous avons donc veillé à attribuer du crédit aux explications et aux motivations des enseignants, à comprendre leurs raisons d'agir en adoptant une démarche orientée vers la recherche du sens qu'ils donnent à leurs comportements et à leurs choix vis-à-vis de LabNbook.

5.2. Données mobilisées et outils de mesure

Le processus d'évaluation longitudinale (PEL) a été élaboré sur la base de la méthode THEDRE (Mandran, 2018). L'évaluation s'est déroulée sur trois années d'enseignement, de septembre 2017 à juin 2020. Différents outils de mesure ont été construits afin de collecter des données auprès des enseignants et des étudiants à différents moments de l'utilisation : avant enseignement ou après enseignement, lors de la première, deuxième ou troisième année d'utilisation. *In fine*, le PEL a impliqué 23 unités d'enseignement, 157 enseignants et 1345 étudiants de l'UGA et de Grenoble INP. Le tableau 2 fournit un aperçu des différents outils de mesure, organisés par type d'approche (quantitative vs qualitative) et par nature des données collectées (factuelles vs déclaratives).

Tableau 2 • Outils de mesure du PEL organisés par approche et par nature des données

	Approche quantitative	Approche qualitative
Données de nature factuelle	Traces d'activité des étudiants ($n = 4,6 M$)	Analyse des missions ($n = 144$) Débriefings, séminaires, etc.
Données de nature déclarative	Questionnaires baromètres enseignants ($n = 159$) Questionnaires de satisfaction étudiants ($n = 1345$)	Entretiens semi-directifs pré- et post-utilisation avec les enseignants ($n = 47$)

Pour cet article, nous mobilisons les données qui concernent uniquement les enseignants et qui sont issues des questionnaires baromètres et des entretiens pré et post-utilisation.

5.2.1. Les questionnaires baromètres

Dans le cas des questionnaires baromètres (QB), le protocole supposait de faire passer un même questionnaire aux enseignants-utilisateurs une première fois avant utilisation de la plateforme et après chaque période d'utilisation. L'évolution des réponses au fil de l'appropriation de la plateforme devait permettre de prendre la mesure des transformations opérées. Ce questionnaire comportait une série de 39 questions fermées (modalités de réponses sous forme d'échelle de Likert à quatre niveaux), dont 11 correspondaient aux caractéristiques retenues ici pour qualifier les évolutions pédagogiques

éventuelles vers des pédagogies plus actives (7 questions) ou les transformations des objectifs pédagogiques visés (4 questions). Des exemples de questions sont donnés dans le tableau 3.

Au cours des trois années de l'étude, 159 questionnaires baromètres ont été remplis par des enseignants. Afin de nous assurer que les évolutions observées dans les réponses aux questions résultent d'un réel changement individuel d'opinion parmi les utilisateurs familiers de la plateforme, nous avons choisi d'exploiter les 64 questionnaires des 32 enseignants ayant répondu avant utilisation de la plateforme (32 QB0) et après une première utilisation de la plateforme (32 QB1).

Si l'approche par questionnaire permet de mesurer quantitativement un phénomène, elle comporte des limites qu'il convient de souligner dès à présent. D'une part, les questions fermées et ciblées sur les pratiques pédagogiques des répondants peuvent faire l'objet d'interprétations variables et correspondre à des réalités différentes selon les enseignants (cela peut être, par exemple, le cas concernant l'interprétation donnée au travail itératif). D'autre part, il est probable qu'en « imposant » une liste de questions fermées, les répondants se voient dans l'obligation de se prononcer sur des aspects de leurs pratiques qui n'auraient pas émergé de façon naturelle si la question ne leur avait pas été posée directement. En laissant davantage d'ouverture à l'expression spontanée des intentions et du sens donné par les acteurs à leurs comportements et à leurs choix, les entretiens permettent de contrebalancer les limites observées avec les questionnaires et de fournir des données, certes limitées à un plus petit nombre de cas, mais plus proches de notre posture épistémologique.

5.2.2. Les entretiens

Un guide d'entretien semi-directif « pré-utilisation » (avant utilisation de LabNbook) a été construit sur la base de questions ouvertes, de manière à laisser les enseignants expliciter, de la manière la plus spontanée possible, leurs pratiques enseignantes, leurs attentes et leurs intentions pédagogiques avant utilisation de la plateforme. Un second guide d'entretien semi-directif, « post-utilisation », a été élaboré de manière à permettre aux enseignants d'explicitier le contexte dans lequel la plateforme a été utilisée, de décrire les éventuelles évolutions de leurs pratiques pédagogiques et l'évolution de leurs motivations et de leur satisfaction vis-à-vis de LabNbook au fil du temps. Des exemples de questions sont donnés dans le tableau 3.

Pour cet article, nous mobilisons 15 entretiens préutilisation et 20 entretiens post-utilisation. Les entretiens post-utilisation ont été obtenus après deux ou trois années d'utilisation de LabNbook. Les entretiens ont été enregistrés, intégralement retranscrits et ont fait l'objet d'une analyse thématique (Beaud et Weber, 2010 ; Paillé et Mucchielli, 2021).

Tableau 3 • Exemples de questions posées autour des pédagogies actives dans les différents outils de mesure

Critère évalué	Formulation de la question
Explicitation des objectifs d'apprentissage et des compétences visées	
Questionnaires baromètres	« Pour cette formation, j'explique aux étudiants les objectifs d'apprentissage visés »
Entretien préutilisation	« Pouvez-vous me décrire vos objectifs d'apprentissage pour cet enseignement ? »
Entretien post-utilisation	« Pouvez-vous me décrire vos objectifs d'apprentissage pour cet enseignement ? »
Modalités de résolution de problèmes déléguées aux étudiants	
Questionnaires baromètres	« Pour cette formation, je laisse la liberté aux étudiants de choisir leurs méthodes de résolution des problèmes »
Entretien préutilisation	« Pouvez-vous me décrire vos attentes vis-à-vis des étudiants, pour la résolution de problèmes ? »
Entretien post-utilisation	« Pouvez-vous me décrire vos attentes vis-à-vis des étudiants pour la résolution de problèmes ? »
Encouragement du travail collaboratif	
Questionnaires baromètres	« LabNbook facilite (ra) le travail collaboratif des étudiants »
Entretien préutilisation	« Comment pensez-vous organiser le travail individuel/en groupe avec LabNbook ? »
Entretien post-utilisation	« Comment organisez-vous le travail individuel/en groupe avec LabNbook ? »
Possibilité de réaliser des tâches en dehors des séances en présentiel	
Questionnaires baromètres	« Pour cette formation je demande aux étudiants du travail en dehors des séances »
Entretien préutilisation	« Comment pensez-vous faire utiliser LabNbook à vos étudiants pendant les séances et hors séances ? »
Entretien post-utilisation	« Comment faites-vous utiliser LabNbook aux étudiants pendant les séances et hors séances ? »
Validation du travail des étudiants en cours d'activité (évaluation formative)	
Questionnaires baromètres	« Pour cette formation, je valide le travail des étudiants en cours d'activité »
Entretien préutilisation	« Pensez-vous utiliser LabNbook pour suivre et valider le travail des étudiants ? Comment ? »
Entretien post-utilisation	« Avez-vous utilisé LabNbook pour suivre et valider du travail des étudiants ? Comment ? »
Possibilité de travailler de manière itérative	
Questionnaires baromètres	« Pour cette formation, je permets aux étudiants de travailler de manière itérative »
Entretien préutilisation	« Pouvez-vous m'expliquer les consignes données aux étudiants concernant la réalisation du travail demandé ? »
Entretien post-utilisation	« Pouvez-vous m'expliquer les consignes données aux étudiants concernant la réalisation du travail demandé ? »

6. Résultats

6.1. Avant utilisation de LabNbook : activités pédagogiques existantes et intentions d'usage de la plateforme

Pour mesurer les transformations pédagogiques au fil de l'utilisation de LabNbook, nous prenons appui sur le concept d'utilité perçue (Tricot *et al.*, 2003; Davis, 1989) qui renvoie au degré avec lequel un individu considère que l'utilisation d'un outil est susceptible d'améliorer sa performance, et sur celui d'intentions d'usage qui correspond à « *la résultante de la perception de l'utilité et de l'utilisabilité des technologies par les utilisateurs* » (Poyet, 2015, p. 47). Nous mobilisons les 32 questionnaires baromètres (QB0) et les 15 entretiens obtenus avant utilisation de la plateforme.

6.1.1. Caractérisation des enseignements concernés avant utilisation de LabNbook

Les réponses aux questionnaires mettent en évidence des différences selon les indicateurs choisis pour mesurer « le côté actif » des pédagogies en place dans les enseignements avant utilisation de LabNbook. C'est en particulier sur la demande de travail en dehors des séances présentielles et l'explicitation des objectifs d'apprentissage visés que les enseignants interrogés sont les plus unanimes : la majorité déclarait demander du travail en dehors des séances à leurs étudiants ($n = 29/32$) et expliciter leurs objectifs d'apprentissage ($n = 31/32$) avant utilisation de la plateforme. Ils étaient plus partagés concernant la possibilité de faire travailler leurs étudiants de manière itérative ($n = 16/32$), de leur laisser la liberté d'organiser leur temps pendant la séance ($n = 17/32$), de choisir leur méthode de résolution des problèmes ($n = 20/32$) et de valider le travail des étudiants en cours d'activité ($n = 22/32$). Un peu moins d'un quart des répondants proposaient à leurs étudiants des outils d'auto-évaluation ($n = 7/32$).

Les entretiens nous ont permis de caractériser l'implication initiale des enseignants dans les pédagogies actives. Parmi les 15 enseignants rencontrés, 12 s'étaient investis dans des pédagogies actives dans le cadre d'autres UE. C'est le cas, par exemple, d'une enseignante de physique qui propose des modalités d'apprentissage par problème (APP) et explique qu'elle n'est « *pas du tout enseignante par défaut, [que] c'est un vrai choix [...] [qu'elle a] toujours eu cette sensibilité à la démarche pédagogique* » et que LabNbook l'a moins intéressé « *par son aspect technologique, que par son aspect outil pédagogique accompagnant la démarche APP* ».

Les résultats analysés mettent donc en lumière un premier résultat relatif à l'acceptation de LabNbook : les enseignants les plus enclins à utiliser LabNbook semblent être ceux déjà engagés dans des pédagogies actives.

6.1.2. Intentions d'utilisation de LabNbook

En termes d'intentions d'utilisation de LabNbook, nous distinguons deux groupes d'enseignants à partir de l'analyse des questionnaires baromètres QBO et des entretiens préutilisation : d'un côté, les enseignants ayant une intention d'utilisation floue, voire aucune intention d'utilisation explicite, et, de l'autre, les enseignants ayant des intentions d'utilisation plus affirmées. Nous analysons ces intentions exprimées en fonction des trois registres d'utilisation de notre cadre d'analyse : les objectifs d'apprentissage disciplinaires (OAD), les objectifs d'apprentissage transversaux (OAT) et les activités pédagogiques proposées (AP). Un même enseignant peut avoir plusieurs intentions d'utilisation.

6.1.2.1. Aucune intention précise d'usage

Parmi les 32 enseignants ayant répondu au questionnaire, ils étaient 9 à voir l'introduction de LabNbook dans leur enseignement comme une contrainte potentielle. Parmi les 15 enseignants rencontrés en entretien, seuls deux ne percevaient aucune valeur ajoutée à l'utilisation de LabNbook. L'un de ces deux enseignants s'était conformé au choix du reste de l'équipe pédagogique. Il ne partageait pas l'ensemble des intentions pédagogiques de ses collègues et voyait comme principal intérêt à son utilisation la « *suppression des comptes rendus papier* ». Pour l'autre, c'était principalement parce qu'il connaissait « *depuis très longtemps* » deux concepteurs de la plateforme, qu'il avait décidé de tester LabNbook : « *Ça, c'était ma motivation initiale parce que, s'il n'y avait pas eu ça, peut-être que je l'aurais laissé de côté[...]. J'ai d'autres choses à faire!* ».

6.1.2.2. Intentions d'usages pour l'acquisition de compétences disciplinaires (OAD)

Dans les questionnaires, « l'aide apportée aux étudiants pour structurer leur rapport d'expérience » ($n=27/32$) et « l'accès à des outils de rédaction d'un rapport scientifique » ($n=25/32$) arrivent en tête parmi l'ensemble des propositions relatives à l'utilité perçue de LabNbook. L'intention d'utilisation ciblant les compétences disciplinaires avec LabNbook semble centrale pour ces répondants.

Les enseignants rencontrés en préentretiens sont nettement moins nombreux ($n=3/15$) à décrire une intention d'utilisation ciblant l'acquisition de compétences disciplinaires. C'est cependant le cas de deux enseignants de physique d'une même UE qui décrivent assez précisément les apprentissages disciplinaires qu'ils ciblent avec LabNbook. Un des enseignants exprime ainsi ses intentions : « *Le but, ça serait qu'au début, c'est nous qui mettions vraiment les protocoles très stricts pour qu'ils aient une idée d'à quoi ça ressemble[...] et après, de relâcher au fur et à mesure pour qu'ils suivent en fait cette même stratégie de protocole dans leur rédaction. C'est là où on pensait que ça pourrait aider d'avoir LabNbook parce que, pour le moment, ce qu'on a fait, c'est d'imprimer quelques fiches*

clés avec les questions de base qu'ils doivent se poser à chaque fois. S'ils ont une trame avec ces questions clés, mais qu'ils doivent rendre spécifique à la mesure qu'ils font, je pense que ce sera nettement plus facile ». Cet enseignant décrit un apprentissage disciplinaire très spécifique - l'apprentissage de la structuration d'un protocole - et projette d'utiliser les possibilités de préstructuration de la plateforme pour permettre aux étudiants d'acquérir cette « stratégie de protocole ». C'était également le cas d'une responsable d'UE de biologie, dont les propos mettent en évidence l'adéquation entre les objectifs d'apprentissages - préparer la phase expérimentale en répondant à des questions précises - et l'atteinte de ces objectifs avec LabNbook : *« En fait, le premier tutorat, il est très théorique. C'est-à-dire qu'on discute vraiment de l'objectif de leur projet, de leurs questions, d'arriver à bien définir la question. [...]. Et ensuite, à la fin du 2^e tutorat, on leur distribue des fiches de manière à ce qu'ils préparent vraiment la suite, la partie expérimentale. Ces fiches leur permettent de répondre à des questions très précises en fait [...]. Et ça, c'est quelque chose qu'on peut faire de manière beaucoup plus optimisée avec LabNbook »*.

6.1.2.3. Intentions d'usages pour l'acquisition de compétences transversales (OAT)

Les deux tiers des répondants aux questionnaires envisageaient LabNbook comme un support favorable pour permettre aux étudiants d'acquérir des compétences pour « organiser leur travail » ($n=20/32$), pour « partager des ressources entre eux » ($n=18/32$) et « travailler de façon collaborative » ($n=18/32$).

Les projections des enseignants rencontrés en entretien préutilisation se focalisaient principalement sur l'acquisition de compétences transversales par les étudiants, faisant abstraction des outils spécifiques à l'enseignement des sciences expérimentales. Pour ces enseignants, LabNbook était perçue comme « un plus », un outil favorable à l'acquisition de compétences supplémentaires, sans mobilisation de ses spécificités pour les sciences expérimentales : *« Moi je pense que c'est un réel outil pour arriver de plus en plus à faire travailler les étudiants en TP sous la forme de projet. [...] Je pense que c'est des compétences malheureusement sur lesquelles on ne va pas assez par rapport au besoin professionnel. Et aussi de développer leur autonomie »*. Parmi l'ensemble des compétences transversales citées en entretien, l'apprentissage du travail collaboratif et du travail à distance sont revenus très fréquemment.

6.1.2.4. Intentions d'usages pour transformer les activités pédagogiques (AP)

Les résultats issus des questionnaires et relatifs à la perception de l'utilité de LabNbook pour soutenir les activités pédagogiques proposées aux étudiants mettent en évidence une volonté de transformation de la part des enseignants. De façon générale, les trois-quarts d'entre eux attendaient de la plateforme

qu'elle leur permette de faire évoluer leurs pratiques pédagogiques ($n = 24/32$). Leurs attentes en la matière ciblaient également les possibilités de suivi de l'activité des étudiants ($n = 26/32$). De façon un peu moins unanime, leur perception de l'utilité de LabNbook portait aussi sur la facilitation du travail entre les séances ($n = 20/32$). Ils étaient nettement moins nombreux à envisager de travailler de manière plus collaborative entre collègues de l'UE ($n = 12/32$).

Bien qu'un certain nombre d'enseignants aient évoqué des attentes relatives à une transformation des activités pédagogiques avec l'utilisation de LabNbook, ces attentes sont apparues secondaires et assez floues durant les entretiens. Certains craignaient les résistances probables de leurs collègues. D'autres évoquaient leur intention de faciliter le travail des étudiants entre les séances, mais sans avoir encore d'idée précise des modalités d'organisation du travail à distance avec LabNbook.

6.1.2.5. Conclusion sur les intentions d'usages des enseignants

Les intentions d'usages des enseignants rencontrés avant utilisation portent donc principalement sur l'acquisition de compétences transversales. Mais les projections demeurent généralement floues et n'ont pas encore impliqué de réflexion sur l'alignement pédagogique entre les objectifs d'apprentissage ciblés et les activités pédagogiques à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs avec l'outil.

6.2. Après utilisation de LabNbook : pédagogies soutenues et impulsions de transformations

Avec l'utilisation de LabNbook, les enseignants sont entrés dans une phase d'appropriation durant laquelle ils ont été amenés à instrumenter leur activité et à instrumentaliser la plateforme (Tricot *et al.*, 2003 ; Davis, 1989). Certains ont été accompagnés par l'équipe conceptrice au moment d'imaginer et de mettre en place leur scénario pédagogique sur LabNbook, parfois après une ou deux périodes d'expérimentation. Dans cet article, nous ne développons pas le processus d'appropriation - ce qui impliquerait d'opérer une analyse en profondeur des obstacles rencontrés et des ajustements didactiques et pédagogiques opérés - mais nous proposons d'analyser les formes de pédagogies finalement soutenues par LabNbook et les transformations pédagogiques impulsées par son utilisation. Nous mobilisons les 32 questionnaires baromètres recueillis après une année d'utilisation (QB1) de la plateforme et les 20 entretiens réalisés à l'issue de la période d'évaluation, après que les enseignants aient utilisé LabNbook durant deux ou trois ans. L'analyse des entretiens post-utilisation s'est focalisée sur la satisfaction ou les déceptions en lien avec les intentions pédagogiques de départ et les découvertes ayant permis d'impulser d'éventuelles transformations pédagogiques.

6.2.1. LabNbook soutient les pédagogies actives déjà en place

Les résultats des questionnaires à l'issue de la période d'utilisation mettent en évidence un renforcement, sur certains indicateurs, des pédagogies actives déjà en place. C'est le cas, par exemple, concernant la demande de travail en dehors des séances (de $n = 29$ à $n = 32$) et la liberté laissée aux étudiants d'organiser leur temps pendant la séance (de $n = 17$ à $n = 22$). L'étude des effets de LabNbook sur les pratiques enseignantes donne des résultats stables sur les deux aspects évalués : le suivi des étudiants ($n = 26$ à $n = 27$) et l'évolution des pratiques pédagogiques ($n = 28$ à $n = 28$). Dans les deux cas, les attentes initiales en la matière étaient assez élevées et semblent être satisfaites à l'issue d'une première période d'utilisation.

À la question « Utiliser LabNbook est une contrainte, car c'est utiliser un outil numérique supplémentaire », les enseignants interrogés répondent majoritairement par la négative pour toutes les vagues de passation. Trois enseignants qui se déclaraient en accord avec la proposition lors de la première vague se déclarent néanmoins en désaccord à l'issue de la période d'utilisation, ce qui semble témoigner d'une forme d'appropriation de la plateforme. La proportion des répondants faisant état de l'utilité de LabNbook reste stable au fil du temps ($n = 28$ à $n = 28$), avec toutefois une légère évolution qualitative dans le niveau d'appréciation des enseignants interrogés : deux enseignants, « plutôt d'accord » avec la proposition « LabNbook est utile pour mes pratiques d'enseignement » avant utilisation, se déclarent « Tout à fait d'accord » après une période d'utilisation.

En revanche, LabNbook n'impulse aucune évolution remarquable concernant la mise à disposition d'outils d'auto-évaluation et la possibilité de faire travailler les étudiants de manière itérative : ces pratiques, peu fréquentes, se maintiennent presque à l'identique après une période d'utilisation de la plateforme. Néanmoins, aucun indicateur ne diminue significativement, ce qui laisse penser que LabNbook soutient les pédagogies actives déjà en place.

6.2.2. LabNbook impulse des transformations pédagogiques non anticipées

Le rôle joué par la plateforme pour impulser des transformations pédagogiques non envisagées initialement est un autre résultat de l'évaluation. Si ce constat ne ressort pas des questionnaires, c'est dans les entretiens qu'on identifie le mieux ce phénomène. Ainsi, nous pouvons citer le cas évoqué précédemment de cet enseignant, peu engagé dans les pédagogies actives, qui avait pour intention initiale la « suppression des comptes rendus papier ». En utilisant LabNbook, il semble découvrir à la fois de nouvelles activités pédagogiques (AP) – échanger régulièrement avec ses étudiants, suivre leur travail, proposer des modalités de travail de type itératif – et les effets de ce type de pédagogie sur le travail des étudiants : « Pour les TD,

ils arrivaient en salle, si on leur avait donné le thème du TD, ils ne le travaillaient pas avant. Alors qu'avec LabNbook, ils sont obligés de travailler puisqu'on pose des questions auxquelles il faut qu'ils répondent avant de venir en TD. Donc ça, c'est bien ». Il définit la plateforme comme un outil « tourné vers la relation enseignant et étudiants » et fait le constat qu'en mobilisant la plateforme, il a finalement transformé les activités proposées aux étudiants pour coller davantage à ses objectifs pédagogiques (OAT).

Mais les transformations les plus notables touchent moins aux activités pédagogiques et aux objectifs d'apprentissage transversaux qu'aux objectifs d'apprentissage disciplinaires (OAD). Ces transformations sont parfois impulsées par la découverte d'une fonctionnalité dédiée aux sciences qui va permettre d'aborder différemment une notion importante pour la discipline. C'est ce que nous explique, par exemple, cet enseignant de physique au sujet de l'ajustement manuel de données expérimentales par des modèles mathématiques paramétrés, rendu possible grâce à un outil de LabNbook : *« L'ajustement de courbes paramétrées, moi c'est un truc que j'aime beaucoup dans LabNbook. Ça n'existe pas à ma connaissance dans les tableurs. Ça rend vraiment concret ce qu'est la notion d'ajustement y compris, d'ailleurs, pour des ajustements simples par une droite. Ça rend vraiment concret ce qu'est la pente, ce qu'est l'ordonnée à l'origine* ». C'est également ce que nous raconte cet enseignant de chimie qui, en se familiarisant avec certains outils, a précisé ses objectifs d'apprentissage disciplinaires : *« Cette année, on a essayé d'aller un peu plus loin dans la simulation [...], on a insisté sur l'importance de faire de beaux graphiques, de belles courbes. [...] Ils doivent tracer les courbes. C'est LabNbook qui trace les courbes. Ils se rendent bien compte là où il y a des sauts plus importants. Et on ne fait pas plusieurs fois les manip[...]. Donc, je dirais qu'une première fois, c'est avec LabNbook pour qu'ils se rendent compte où il y a un saut, qu'il faut doser ou aller plus doucement »*.

Dans certains cas, ces transformations ont été impulsées au détour d'une phase d'instrumentation, lorsqu'il a fallu adapter le scénario pédagogique aux contraintes de la plateforme : *« C'est parti d'une contrainte technique, mais finalement, ça s'est avéré une extrêmement bonne idée, le fait qu'on fasse deux missions distinctes[...] Et ça a très bien marché, avec des structures de comptes rendus plus claires. Avec également [...] une clarification sur ce qu'est la phase de manipulation, de saisie de données et ce qu'est la phase de rédaction de compte rendu [...] Enfin vraiment, je dois dire, c'était un peu inattendu ! On voulait juste avoir des comptes rendus plus agréables à lire et à corriger et on s'est aperçu que là, il y avait un vrai progrès pédagogique qu'on n'avait pas anticipé ! Donc voilà, ça fait très plaisir ce genre de chose parce qu'on découvre que les outils eux-mêmes peuvent être des facteurs de progrès pédagogiques !* ». À l'instar des propos de cet enseignant, la satisfaction de ceux pour lesquels LabNbook a impulsé des transformations pédagogiques non anticipées est généralement élevée et les projections d'utilisation future semblent évidentes.

6.2.3. LabNbook impulse une réflexion autour de l'alignement pédagogique

Les entretiens post-utilisation mettent en évidence un constat assez général : les enseignants dont les intentions initiales étaient tournées principalement vers les compétences transversales (OAT), n'établissent pas de lien clair entre l'utilisation de LabNbook et l'acquisition attestée de ces compétences par les étudiants. Une hypothèse possible est qu'ils n'ont généralement pas mis en place les modalités d'évaluation de cette acquisition. Ce faisant, lorsque ces enseignants sont satisfaits après plusieurs périodes d'utilisation, cette satisfaction porte généralement plus sur les nouvelles activités pédagogiques (AP) qui ont pu être proposées sur LabNbook et/ou sur l'acquisition de compétences disciplinaires (OAD).

C'est, par exemple, le cas de cet enseignant de chimie dont les attentes initiales visant l'acquisition de compétences transversales avec LabNbook étaient fortes - il parlait notamment de favoriser l'apprentissage du travail en mode projet, d'apprendre à s'organiser, à se répartir le travail et à échanger au sein d'une équipe. Voici le bilan qu'il tire après deux périodes d'utilisation : *« C'est un outil qui m'a intéressé[...] surtout pour la structuration du travail que l'on demande aux étudiants [OAD] et aussi l'échange que l'on peut avoir avec eux [AP]. [...] Mais au moins ça a eu le gros mérite aussi de faire réfléchir. [...] Ça a eu le gros intérêt de réinterroger ma pratique, mon savoir »*. Cet enseignant soulève un point important, que l'on retrouve en filigrane dans de nombreux entretiens post-évaluation : LabNbook impulse une réflexion sur l'alignement pédagogique, c'est-à-dire la cohérence entre les objectifs pédagogiques, les activités proposées aux étudiants sur LabNbook et en dehors de la plateforme, et les formes d'évaluation mises en place. LabNbook peut donc impulser une réflexion - individuelle et parfois collective - qui va éventuellement conduire à une évolution pédagogique.

Lorsqu'émergent des désaccords au sein des équipes pédagogiques au sujet de l'alignement pédagogique, il en ressort un risque d'abandon de la plateforme. C'est ce qui semble se produire dans cette UE de biologie destinée à des étudiants de niveau Master, dans laquelle LabNbook était principalement utilisée pour soutenir la démarche en mode projet (AP). Les intentions initiales des enseignants ciblaient également l'acquisition de compétences transversales (OAT), notamment l'autonomie et la professionnalisation des étudiants, en les poussant à collaborer davantage entre eux, à s'organiser et à développer leur sens critique. À l'issue de deux années d'utilisation, les enseignants dressent le constat que *« ça ne fonctionne pas très bien »* parce que les étudiants *« ne jouent pas le jeu »*. Nous avons rencontré deux enseignants de cette UE. Ces deux enseignants dressent le même bilan. L'un envisage d'arrêter d'utiliser la plateforme, l'autre de travailler davantage l'ajustement entre les attentes pédagogiques et les activités - selon lui *« trop complexes »* - proposées aux étudiants sur LabNbook. Sans travail autour de cet alignement, il est probable que l'outil soit abandonné.

7. Discussion : vers une caractérisation de la transformation pédagogique

La recherche sur les liens entre introduction d'un outil technologique et innovation pédagogique montre une absence de consensus dans les travaux : certains auteurs soutiennent que l'innovation technologique serait porteuse d'un potentiel de transformation de l'enseignement ; d'autres tendent à relativiser cet impact, en montrant que l'innovation technologique apporterait davantage un soutien aux pratiques existantes que de la nouveauté.

Notre évaluation met en évidence que les enseignants qui décident d'utiliser LabNbook ont initialement une appétence pour les pédagogies actives. Cette adhésion initiale à ce type de pédagogies, sous-tendue par une approche socioconstructiviste de l'apprentissage, agit probablement sur l'utilité perçue de la plateforme qui semble être d'abord identifiée comme un support au niveau du déroulement des activités pédagogiques (AP). Nous avons confirmé la capacité de LabNbook à soutenir les pédagogies actives déjà en place dans certains enseignements. Ce volet de notre étude semble donc corroborer les résultats des recherches qui estiment que l'introduction du numérique en classe soutient, plutôt qu'elle ne transforme, les modalités d'enseignement existantes (Cuban *et al.*, 2001 ; Zhao *et al.*, 2002 ; Hanna et Charalampopoulou, 2019 ; Raby *et al.*, 2019). Mais, en adoptant une démarche longitudinale et en intégrant la question du temps nécessaire à la transformation (Van Tassel-Baska *et al.*, 2008 ; Mendoza *et al.*, 2010), notre évaluation propose d'aller au-delà de ce constat pour comprendre si un outil numérique comme LabNbook, suffisamment ouvert pour n'imposer aucune démarche pédagogique *a priori*, peut agir comme vecteur de transformation de la pédagogie des enseignants. Plus encore, elle cherche à savoir ce qui se trouve impacté dans les pratiques pédagogiques des enseignants par l'usage d'un tel outil, et ainsi caractériser la transformation pédagogique au regard de ces résultats.

Nous avons vu que les intentions d'utilisation initiales des enseignants avec LabNbook ciblent peu les savoirs disciplinaires et davantage l'acquisition de compétences transversales (OAT) ou la mise en place d'activités pédagogiques (AP) nouvelles. Ceci est probablement lié au fait que les enseignants identifient, en premier lieu, les outils d'organisation, de communication, de collaboration et de suivi de LabNbook, plus que ceux destinés spécifiquement à l'enseignement disciplinaire. Nous avons cherché à savoir si, en accord avec ces intentions initiales d'utilisation, les enseignants transforment leurs pratiques au niveau des activités pédagogiques (AP) ou des apprentissages transversaux (OAT), soit les deux ingrédients de l'enseignement les plus susceptibles d'être impactés par la mise en place de pédagogies actives.

Quelques enseignants rencontrés dans le cadre de notre évaluation utilisent LabNbook de façon très basique, par exemple uniquement pour récupérer les

productions de leurs étudiants. Si ces modalités d'utilisation transforment la manière d'enseigner et de suivre le travail des étudiants, elles ont peu de conséquences sur les fondements de la séquence pédagogique : les objectifs d'apprentissage de ces enseignants sont restés les mêmes, tout comme la plupart des activités pédagogiques proposées aux étudiants. Ce qui était réalisé auparavant sur un autre type de support (logiciel ou papier), a simplement été transféré sur LabNbook. Ce résultat corrobore encore une fois les conclusions des études qui tendent à relativiser le lien entre innovation technologique et innovation pédagogique (Cuban *et al.*, 2001 ; Zhao *et al.*, 2002 ; Tricot, 2017).

Un autre exemple est ce qui se passe au niveau des attentes initiales des enseignants en matière d'acquisition de compétences transversales par les étudiants. Nous avons vu que les intentions initiales d'utilisation des enseignants ciblaient principalement l'acquisition de ce type de compétences. Or, après deux années d'utilisation de la plateforme, nous avons pu constater qu'elles n'avaient généralement fait l'objet d'aucune formalisation de la part des enseignants et n'avaient pas été transformées en objectifs d'apprentissage clairs, soutenus par des activités pédagogiques et évalués par des modalités en cohérence avec ces objectifs. La transformation pédagogique escomptée n'a pas vraiment eu lieu ou demeure, de ce point de vue, à un niveau très superficiel (Matzen et Edmunds, 2007).

Certains de nos résultats permettent d'aller au-delà et montrent que la plateforme transforme parfois en profondeur les enseignements et les enseignants, quant aux objectifs pédagogiques qu'ils poursuivent. De façon assez inattendue par rapport aux intentions d'utilisations, ce sont les apprentissages disciplinaires (OAD) qui semblent essentiellement évoluer. Ce résultat tient en partie à la découverte, par les enseignants, d'outils très spécialisés pour l'apprentissage des sciences expérimentales, qui permettent de proposer de nouvelles tâches aux étudiants (écrire des protocoles d'expérience ou modéliser des données expérimentales). Cette transformation nous semble plus profonde, car à la différence des modifications qui se jouent uniquement au niveau des activités pédagogiques proposées, elle touche à l'essence même des apprentissages visés au cours de la séquence.

Nos résultats semblent donc mettre en évidence que les deux orientations, apparemment opposées, issues des travaux ayant cherché à mesurer les liens entre innovation technologique et innovation pédagogique, peuvent cohabiter autour d'un même outil numérique. Celui-ci peut entraîner de profondes transformations dans l'enseignement si son usage impacte directement les objectifs d'apprentissage visés, ou ne rien changer aux pratiques antérieures. Le chemin qui sera emprunté par l'enseignant dépend probablement de multiples facteurs, comme son appétence pour le numérique ou son envie de changement, de la découverte inattendue de fonctionnalités permettant d'imaginer une autre

manière d'enseigner (affordances de l'outil), etc. Mais nos résultats montrent que les intentions initiales d'utilisation ont finalement peu d'impact sur les évolutions pédagogiques qui peuvent s'en suivre. *A contrario*, les fonctionnalités qui apportent un soutien effectif à l'apprentissage disciplinaire semblent déterminantes pour engager une véritable transformation de l'enseignement.

Ces premiers éléments de caractérisation de la transformation pédagogique en lien avec l'usage d'une technologie s'accompagnent d'une condition essentielle. La phase d'appropriation, qui suppose d'instrumenter l'activité pédagogique et d'instrumentaliser l'outil, conduit inévitablement à un travail, individuel ou collectif, réalisé autour de l'alignement pédagogique. Nous l'avons vu, l'introduction d'un nouvel outil impulse une réflexion sur la cohérence de l'approche pédagogique, ce qui peut éventuellement conduire à des transformations. Dans certaines situations, il arrive que la première phase d'instrumentation conduise les enseignants à réinterroger l'alignement pédagogique et à modifier leurs objectifs d'apprentissage en lien avec les spécificités de l'outil. Dans ce cas, le travail réalisé autour de l'alignement pédagogique participe directement à la transformation pédagogique. Mais dans d'autres situations, c'est bien la découverte de certaines spécificités de la plateforme, au cours des phases d'utilisation en séance, qui conduit les enseignants à transformer leurs objectifs d'apprentissage disciplinaires. Dans ce cas, le travail de « réaligement » pédagogique se fait, la plupart du temps, au cours d'une seconde phase d'instrumentation (généralement avant la deuxième ou la troisième année d'utilisation) et s'organise autour de l'émergence de ces nouveaux objectifs d'apprentissage.

La transformation pédagogique et son corollaire, le réaligement pédagogique, apparaissent comme un facteur prédictif de l'adoption de l'outil à long terme. À ce jour, nous savons que les enseignants qui ont transformé leurs objectifs d'apprentissage grâce à la plateforme, et qui avaient travaillé l'alignement pédagogique en lien avec ces nouveaux objectifs, continuent à l'utiliser pour leur enseignement. *A contrario*, ceux pour lesquels les discussions n'avaient pas permis de déboucher sur une mise en cohérence des activités pédagogiques proposées, des objectifs d'apprentissage visés et des modalités d'évaluation, ont généralement abandonné leur utilisation de la plateforme. S'il y a transformation des objectifs d'apprentissage sans qu'un « réaligement pédagogique » soit considéré, le risque d'abandon de l'outil - et, de fait, du nouvel objectif d'apprentissage né de son utilisation - devient fort. C'est tout l'équilibre de la séquence pédagogique qui est alors mis en danger. À l'inverse, lorsque l'usage d'un EIAH conduit les enseignants à transformer leurs objectifs d'apprentissage et que cette transformation s'accompagne d'un travail de réaligement pédagogique des trois ingrédients fondamentaux de la séquence pédagogique, une forte dépendance à l'outil semble se créer et présager de son utilisation à long terme.

8. Conclusion

Évidemment, introduire un nouvel outil dans une pratique d'enseignement peut être considéré comme une première démarche de transformation (Sandholtz *et al.*, 1997 ; Matzen et Edmunds, 2007). Mais les résultats de notre recherche montrent que, lorsque le temps de l'appropriation est accordé aux enseignants, la transformation pédagogique va au-delà de la simple introduction de l'outil numérique : elle peut concerner la modification de l'organisation des activités pédagogiques (AP) ou des objectifs d'apprentissages visés, qu'ils soient au niveau transversal (OAT) ou disciplinaire (OAD). Notre étude n'a pas permis de mesurer en quoi l'utilisation de l'outil numérique a impacté le contenu de l'évaluation dans les enseignements que nous avons étudiés, mais il apparaît que, lorsque les activités pédagogiques ou les objectifs d'apprentissage ont été modifiés, l'alignement pédagogique entre ces deux ingrédients et le troisième, l'évaluation, a dû être réinterrogé. Il serait donc intéressant d'étudier spécifiquement dans quelle mesure l'introduction de LabNbook dans un enseignement modifie le contenu de l'évaluation. Ceci sera facilité par le développement d'un outil d'évaluation qui sera prochainement mis à disposition des enseignants dans la plateforme.

Nous pouvons envisager que l'importance de la transformation pédagogique dépende des types d'ingrédients de l'alignement pédagogique (AP, OA, évaluation) qui sont modifiés dans la séquence d'enseignement avec l'introduction de l'outil numérique. Dans notre étude, ce qui semble avoir le plus d'impact sur une appropriation à long terme de la plateforme par les enseignants est une modification des objectifs d'apprentissages disciplinaires. Il est possible que cet effet ne vienne pas tant de l'aspect disciplinaire des objectifs d'apprentissage modifiés que de l'évaluation effective de ces objectifs d'apprentissage dans l'enseignement. Dans ce cas, nous pourrions proposer un modèle de la transformation pédagogique suite à l'introduction d'un outil numérique comme suit :

- Niveau 0 : aucune modification des trois ingrédients de l'alignement pédagogique ;
- Niveau 1 : modification des activités pédagogiques (AP) proposées dans l'enseignement ou des modes d'évaluation de l'enseignement, sans que les objectifs d'apprentissage ne soient modifiés ;
- Niveau 2 : modification des objectifs d'apprentissage non évalués dans l'enseignement (dans notre étude cela concernait les OAT), ce qui implique quasi automatiquement une modification des activités pédagogiques, mais pas forcément du contenu de l'évaluation ;
- Niveau 3 : modification des objectifs d'apprentissage évalués dans l'enseignement (dans notre étude cela concernait les OAD), ce qui implique quasi automatiquement une modification des activités pédagogiques et du contenu de l'évaluation, soit un réalignement complet de l'enseignement.

Cette proposition de modèle demande à être confirmée par des études supplémentaires, notamment concernant l'impact de l'introduction de notre outil numérique sur le contenu de l'évaluation mise en place par les enseignants.

RÉFÉRENCES

- Amadiou, F. (2021). Les types de guidage des processus d'apprentissage avec des ressources numériques. *ALSIIC*, 24(2).
- Baron, G.-L. (2014). Élèves, apprentissages et « numérique ». Regard rétrospectif et perspectives. *Recherches en éducation*, 18, 91-103.
- Beaud, S. et Weber, F. (2010). *Guide de l'enquête de terrain*. La Découverte.
- Bernard, F.-X. et Fluckiger, C. (2019). Innovation technologique, innovation pédagogique : éclairage de recherches empiriques en sciences de l'éducation. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 63(1), 3-10.
- Bertrand, C. (2014). *Soutenir la transformation pédagogique dans l'enseignement supérieur* [rapport public]. Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. <https://www.vie-publique.fr/rapport/34320-soutenir-la-transformation-pedagogique-dans-l-enseignement-superieur>
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32, 347-364.
- Cros, F. (1997). L'innovation en éducation et en formation. *Revue française de pédagogie (RFP)*, 118, 127-156.
- Cuban, L., Kirkpatrick, H. et Peck, C. (2001). High access and low use of technologies in high school classrooms: Explaining an apparent paradox. *American Educational Research Journal*, 38(4), 813-834.
- d'Ham, C., Wajeman, C., Girault, I. et Marzin-Janvier, P. (2021). Transposition de la démarche expérimentale dans un environnement numérique de support : LabNbook, de la caractérisation didactique à l'utilisation en situation écologique. Dans *Actes des 11^e Rencontres scientifiques de l'ARDIST* (p. 705-716). <https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/11/ACTES-NEW.pdf>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- Delforge, C., Meurice, A. et Van de Vyver, J. (2019). Le numérique en classe en 2 temps 3 mouvements - Évaluation d'un scénario de formation continuée. *ALSIIC*, 24(2).
- Dubrac, D. et Djebara, A. (2015). *La pédagogie numérique : un défi pour l'enseignement supérieur* [avis]. Conseil économique, social et environnemental. <https://www.lecese.fr/travaux-publies/la-p-dagogie-num-rique-un-d-fi-pour-l-enseignement-sup-rieur>
- Duguet, A. (2014). *Les pratiques pédagogiques en première année universitaire : description et analyse de leurs implications sur la scolarité des étudiants* [thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01217315/document>
- Duguet, A. et Morlaix, S. (2018). Le numérique à l'université : facteur explicatif des méthodes pédagogiques ? *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 34(3)
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R. et Hmelo-Silver, C.E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: Learning in introductory physics laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54-98.
- Freeman, S., Eddy, S.L., Mc Donough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. et Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *PNAS*, 111(23), 8410-8415.

Hanna, D. et Charalampopoulou, C. (2019). Travail collaboratif sur l'ENT et innovation dans les pratiques professionnelles des enseignants. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 63, 23-35.

Hoffmann, C., Girault, I., Kahane, C., d'Ham, C. et Planche, M. (2021). Utilisation d'une plateforme numérique dans un dispositif d'apprentissage par problèmes (APP). Dans *Actes du 10^e Colloque Questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur (QPES 2019)* (p. 1424-1435). <https://qpes2019.sciencesconf.org/data/pages/ACTESQPES2019.pdf>

Land, S. M., Hannafin, M. J. et Oliver, K. M. (2012). Student-centered learning environments: Foundations, assumptions, and design. Dans S. Land et D. Jonassen (dir.), *Theoretical Foundations of Learning Environments* (chap. 1). Routledge.

Le Déaut, J. Y. (2013). *Refonder l'université, dynamiser la recherche, mieux coopérer pour réussir* (rapport officiel). La Documentation française. <https://www.vie-publique.fr/rapport/32928-refonder-luniversite-dynamiser-la-recherche-mieux-cooperer-pour-reussir>

Lemaître, D. (2007). Le courant des « pédagogies actives » dans l'enseignement supérieur : une évolution postmoderne ? *Recherche en éducation*, 2. <https://doi.org/10.4000/ree.3666>

Mandran, N. (2018). *Traceable human experiment design research: Theoretical model and practical guide*. John Wiley & Sons.

Mandran, N., Marzin-Janvier, P., Planche, M., Karoui, A. et Girault, I. (2019). Processus d'évaluation longitudinale (PEL) d'une plateforme pédagogique (LMS) : le cas de LabNbook. Dans *Actes de la 9^e Conférence sur les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH 2019)* (p. 133-138). https://eiah2019.sciencesconf.org/data/pages/ActesEIAH2019_V4.0.pdf

Matzen, N. J. et Edmunds, J. A. (2007). Technology as a catalyst for change: The role of professional development. *Journal of Research on Technology in Education*, 39(4), 417-430.

Mendoza, A., Carroll, J. et Stern, L. (2010). Software appropriation over time : From adoption to stabilization and beyond. *Australasian Journal of Information Systems*, 16(2), 5-23.

Paillet, P. et Mucchielli, A. (2021). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Armand Colin.

Planche, M., Girault, I., Mandran, N., Marzin, P., d'Ham, C. et Wajeman, C. (2019). Contribution de différents outils de mesure à l'évaluation des usages d'une plateforme numérique par un processus longitudinal : cas du travail à distance. Dans *Actes de la 9^e Conférence sur les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH 2019)* (p. 139-144). https://eiah2019.sciencesconf.org/data/pages/ActesEIAH2019_V4.0.pdf

Poyet, F. (2015). Perception de l'utilité et usages pédagogiques d'environnements numériques de travail par des enseignants du second degré. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 22(1), 45-64.

Raby, C., Charron, A., Tremblay-Wragg, E., Beaupré-Boivin, K. et Villeneuve, S. (2019). Apprendre à intégrer le tableau numérique interactif de manière collaborative à l'éducation préscolaire. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 63, 65-77.

Roschelle, J., Pea, R., Hoadley, C., Gordin, D. et Means, B. (2001). Changing how and what children learn in school with computer-based technologies. *The Future of Children*, 10(2), 76-101.

Sandholtz, J. H., Ringstaff, C. et Dwyer, D. C. (1997). *Teaching with technology: Creating student-centered classrooms*. Teachers College Press.

Tricot, A., Plécat-Soutjis, F., Camp s, J. -F., Amiel, A., Lutz, G. et Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre les trois dimensions de l'évaluation des EIAH. Dans *Actes de la Conférence sur les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH 2003)* (p. 391-402).

Maëlle PLANCHE, Cédric d'HAM, Christian HOFFMANN, Nadine MANDRAN, Isabelle GIRAULT, Claire WAJEMAN, Nicolas BALACHEFF, Patricia MARZIN

VanTassel-Baska, J., Xuemei Feng, A., Brown, E., Bracken, B., Stambaugh, T., French, H. *et al.* (2008). A study of differentiated instructional change over 3 years. *Gifted Child Quarterly*, 52(4), 297-312. <https://doi.org/10.1177/0016986208321809>

Weber, M. (1971). *Économie et Société*. Plon.

Zhao, Y., Pugh, K., Sheldon, S. et Byers, J. L. (2002). Conditions for classroom technology innovations. *Teachers College Record*, 104(3), 482-515.



Pratique contextualisée des tablettes tactiles : une intentionnalité empêchée ?

► **Gaëlle LEFER SAUVAGE** (CUFR de Dembeni, Mayotte)

■ **RÉSUMÉ** • Le contexte numérique dans la sphère scolaire et universitaire présente dans l'académie de Mayotte de fortes contraintes que les outils mobiles pourraient pallier. L'intentionnalité de pratique des tablettes tactiles par les professeurs des écoles stagiaires est alors questionnée. À la suite d'une enquête par questionnaire, 87 réponses sont analysées. L'intentionnalité est expliquée par l'importance du sentiment de compétences dans le contexte universitaire. Des analyses de profils mettent en valeur le poids de la possession d'une tablette personnelle sur l'intentionnalité contextualisée de la pratique de la tablette tactile. En conclusion, la modélisation de l'intentionnalité est débattue et les enjeux des enseignements autour des tablettes tactiles en formation initiale sont discutés.

■ **MOTS-CLÉS** • intentionnalité, pratiques enseignants, Mayotte, usages.

■ **ABSTRACT** • *The digital context in school and university presents significant constraints in the Mayotte academy. Mobile tools could overcome these constraints. We study the intentionality of practicing with digital tablets during initial teachers training. A questionnaire survey is proposed. 87 responses are analyzed. Intentionality is explained by the importance of a self-efficacy in the academic context. Profile analyses reveal the importance of personal tablet owning on the contextualized intentionality of tablet practice. In conclusion, the intentionality modelling is debated and the challenges of initial teaching training about digital tablets are discussed.*

■ **KEYWORDS** • *intentionality, teacher practices, Mayotte, uses.*

1. Injonction au numérique *versus* usage réel : enjeu de la formation universitaire

Le ministère de l'Éducation nationale met en place depuis la rentrée 2019, l'obligation d'une certification numérique des élèves dans le primaire et le secondaire sur la base du référentiel des compétences numériques (CRCN, 2019). Les enseignants et enseignantes¹ stagiaires en formation aux métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation (MEEF) échappent jusqu'à présent (en 2022) à cette certification obligatoire. Ce référentiel n'étant ni basé sur un modèle scientifique, ni le garant d'un usage généralisé des pratiques numériques en classe et hors classe, nous pouvons nous questionner sur la pertinence de l'injonction à cette certification des élèves, et potentiellement bientôt, à la certification des enseignants stagiaires en formation. Cerisier (2020) signale que l'injonction à l'usage est une forme de défaillance du système institutionnel français à garantir l'équité éducative en matière de pratiques, de compétences et d'usages numériques. D'ailleurs, l'OCDE souligne depuis 2015 que « *pour réduire les inégalités dans la capacité à tirer profit des outils numériques, les pays doivent avant tout améliorer l'équité de leur système d'éducation* » (2015, p. 6). Cerisier questionne alors la force de la politique à pouvoir accompagner les professionnels et les enfants dans un dialogue des usages numériques scolaire et hors scolaire.

Les chercheurs montrent depuis près de 30 ans que, quand bien même elle est importante, la formation initiale ne peut remédier à l'ensemble des difficultés liées aux dynamiques du développement de l'informatique à l'école (Baron et Bruillard, 2008). L'utilisation des technologies de l'information et de la communication en éducation (TICE) est souvent très faible en formation initiale, bien qu'elle augmente sur le long terme (Bétrancourt, 2007 ; Peraya, 2018 ; Peraya *et al.*, 2008). Quand bien même les étudiants considèrent important d'utiliser les nouvelles technologies dans les apprentissages (Attenoukon *et al.*, 2015), la réalité de la classe et le manque de temps, liés au manque d'expérience en classe, amènent les jeunes professionnels à ne pas privilégier les nouvelles technologies (Peraya *et al.*, 2008).

¹ La terminologie masculine n'est privilégiée que pour des raisons d'ergonomie d'écriture inclusive et pour éventuellement, faciliter la lecture. De même, la population enquêtée est constituée d'enseignants stagiaires (ou professeurs des écoles stagiaires). Les terminologies « enseignants stagiaires, étudiants, enquêtés » seront privilégiées pour soulager la lecture en diversifiant les termes, même si ces identités sont différentes (Lefer Sauvage *et al.*, 2020).

On sait aussi que les compétences développées à l'université en matière de maîtrise du numérique et celles réexploitées en classe par les enseignants sont très distinctes (Béziat, 2012 ; Béziat et Villemonteix, 2016). La maîtrise technique instrumentale est nécessaire pour les étudiants en formation universitaire, mais, décontextualisée des apprentissages, elle n'est pas suffisante ; elle peut même être dangereuse, le risque étant de considérer la formation comme prescriptive et de renforcer les écarts dans l'usage réel (Béziat, 2012 ; Peraya *et al.*, 2008). Au-delà d'une maîtrise instrumentale, ce sont les compétences numériques qui sont inscrites en contexte. Fluckiger (Fluckiger, 2008) a montré que les collégiens adoptent des schèmes différents selon les contextes qui restent peu transférables d'un contexte à l'autre : « *les compétences techniques limitées dont font preuve beaucoup de collégiens, montrent que ni les familles ni l'usage scolaire d'outils informatiques ne suffisent à former des futurs citoyens capables de comprendre les débats sur les technologies numériques* » (p. 59). Aussi, les enjeux de la formation initiale sont probablement, non seulement, de former les étudiants à des compétences numériques (dans la condition où elles seraient basées sur un modèle scientifique), mais aussi de tenir compte du risque du rapport techniciste aux outils, en privilégiant par exemple un rapport humaniste aux outils (Plantard, 2014). En ce sens, l'intention d'usage et de pratiques des outils et l'importance perçue accordée aux outils sont intéressantes.

Cet article complète une communication présentée au colloque EIAH 2021 (Lefer Sauvage, 2021a) qui a permis de mettre en valeur une modélisation de l'intention de pratique des tablettes tactiles au Centre universitaire de formations et de recherches (CUFR). Elle sera reprise ici sur le plan statistique et affinée sous l'angle des processus qui participent à l'intention d'usage. Après avoir défini sous l'angle psychologique la construction de l'intentionnalité, nous contextualiserons cette question dans les problèmes rencontrés par les étudiants dans le contexte universitaire de Mayotte.

2. Anticipation projetée des pratiques numériques : l'intentionnalité en question

L'intention de pratique est définie comme une anticipation projetée de l'usage (Davis, 1989 ; Lefer Sauvage, 2021a). Plusieurs modèles d'intentionnalité ont été décrits (Dubois et Bobillier-Chaumon, 2009 ; Lefer Sauvage, 2021a ; Tricot *et al.*, 2003 ; Venkatech, 2000 ; Venkatech et Davis, 1996). Le modèle princeps de Davis (1989) met en valeur deux dimensions qui participent à l'intentionnalité : la facilité perçue et l'utilité perçue. Ce modèle a été enrichi par Venkatech (2000) avec un ensemble de variables

psychologiques (motivation intrinsèque, influence sociale, émotion, attente d'effort, etc.) qui ont des effets modérateurs, médiateurs et directs sur l'intention. Dix ans plus tard, le modèle a été transformé par Dubois et Bobillier-Chaumon (2009) qui considèrent que l'intention s'élabore dans la pratique réelle et que c'est à travers l'appropriation (Rabardel, 1995) de la nouvelle technologie que l'intention se transforme. Dans ce cadre, les auteurs identifient cinq dimensions (intra-personnelle, interindividuelle, socio-organisationnelle, biographique et technique) qui participent à cette intention. L'évolution des modèles est intéressante et amène à une réelle prise en compte de la dimension psychologique dans l'intentionnalité. C'est à travers une analyse des définitions des termes et une mise en évidence de zones d'ombres que cette recherche se positionne.

L'intention est considérée comme une disposition de l'esprit pour tendre vers un but, ici la pratique de la tablette tactile. Il s'agit de recenser les scénarios et les paramètres possibles en vue de programmer cette pratique (on se situe dans une démarche cognitive). Mais Georges (1964) apporte une nuance intéressante dans la notion d'anticipation, puisqu'il signale qu'anticiper n'est pas seulement identifier les possibles, c'est aussi s'engager dans l'identification des exigences et des contraintes liées à la pratique. Cette anticipation projetée de l'usage entraîne alors des activités de mentalisation sur le soi et d'articulation des paramétrages de la tablette tactile, pour faire en sorte que rien n'entrave la pratique projetée. En ce sens, Georges évoque la notion de schèmes opérationnels qui « *règlent la nature et la succession des différents gestes requis par les tâches usuelles* » (1964, p. 64). L'auteur explique qu'il y aurait plusieurs niveaux d'anticipation, l'un dit superficiel, dans lequel le sujet opère, par prudence, une exploration succincte de la pratique projetée, l'autre reposant sur des tâtonnements successifs permettant de tendre vers une compréhension générale et en profondeur de la pratique projetée. Cette première nuance théorique apportée par Georges est d'ailleurs récemment questionnée dans la genèse instrumentale de Rabardel, car des chercheurs ont montré qu'il pouvait y avoir une phase d'instrumentation superficielle, une phase d'instrumentation en profondeur ainsi qu'une phase de dés-instrumentation (Lefer Sauvage *et al.*, 2021).

De plus, dans la notion d'anticipation projetée (dite d'intentionnalité), les travaux en psychologie de l'orientation permettent de mieux comprendre les processus mis en œuvre par les personnes (adolescents ou adultes notamment) lorsqu'elles se projettent dans un espace temporel futur. Dans notre recherche, nous tentons de voir l'intentionnalité de la

pratique de la tablette tactile comme² un processus identitaire de projection de soi dans une pratique de l'outil dans l'avenir. Guichard (2004) argue que cette construction identitaire dynamique passe par deux processus réflexifs qui interagissent de façon itérative et continue, la « réflexivité duelle » et la « réflexivité ternaire ». La première renvoie à une forme d'identification, une image unifiée d'un soi idéal, et en même temps, une image rejetée de soi qu'on ne souhaite pas faire apparaître dans le futur. La seconde renvoie à un dialogue avec des autres significatifs pour mettre à distance des rapports temporels entre un soi passé, présent et futur anticipé. Guichard (2004) rappelle aussi que le contexte joue un rôle essentiel dans la structuration de ces nouvelles formes identitaires.

Ainsi, l'intentionnalité n'est pas seulement une identification aux pratiques possibles, ni seulement un engagement qui tient compte des exigences et des contraintes, c'est aussi la capacité de se représenter soi-même en train de réaliser cette pratique de la tablette tactile. D'ailleurs, Caradec (1999) avait déjà montré que cette dimension était essentielle dans l'usage de nouvelles technologies. En travaillant auprès de personnes âgées, il montre que le fait d'utiliser une nouvelle technologie pouvait entrer en concurrence avec un soi antérieur ou des compétences non technologiques antérieures. À travers l'exemple de personnes qui se construisent une identité sociale comme « le fait d'être femmes au foyer », Caradec explique que les innovations technologiques peuvent remettre en cause « *leurs compétences et ce qu'elles considèrent comme relevant de leurs prérogatives* » (1999, p. 58).

Ce détour théorique permet de s'éloigner des modèles habituellement convoqués pour traiter de l'intentionnalité dans l'usage et de les enrichir. Il semble désormais qu'on puisse imaginer que l'intention de pratique naisse dans des perspectives temporelles futures, qui ont deux dimensions, désirée et redoutée (Guichard, 2004), possiblement trois : désirée, redoutée et attendue (Lefer, 2012), et qu'elle ait deux niveaux d'engagement : superficielle et profonde.

Les notions « d'usage » et de « pratique » sont ici entendues au sens de Plantard (2014), l'usage étant un ensemble de pratiques socialisées qui fondent de nouvelles normes et interrogent les techno-imaginaires. Les pratiques sont définies comme une « *dialectique entre individualisation et socialisation, située dans des espaces* » (p. 60) et issues des représentations sociales. En ce sens, ces définitions sont strictement opposées à celle de

² Le « voir comme » est entendu au sens de Wittgenstein (Wittgenstein, 1953/2004).

Peraya et Bonfils (2014), mais l'enjeu demeure le même entre les auteurs : dégager les conceptions culturelles et les mythes rattachés à la pratique d'outils numériques.

3. Contextes numériques scolaire et universitaire : l'intention de pratique des tablettes tactiles est-elle possible ?

Déjà en 2013, dans le Schéma directeur territorial d'aménagement numérique du département de Mayotte (Conseil départemental de Mayotte, 2013), le Conseil départemental de Mayotte montre que *« l'ensemble des établissements mahorais concentrait de l'ordre de 83 000 élèves en 2011 et un personnel de 3 000 personnes, soit un total de 86 000 personnes représentant 44 % de la population de Mayotte. Le département de Mayotte compte environ 3 000 à 4 000 élèves de plus chaque année. [...] Le raccordement de ces établissements à haut débit et très haut débit va devenir une exigence de premier plan au cours des prochaines années »* (p. 22). La synergie et l'émulation continues autour du développement numérique sur le territoire Mahorais ont porté leur fruit : création d'une technopole, création d'un laboratoire d'innovation numérique, création d'un cluster numérique regroupant des entreprises du numérique, raccordement à la fibre optique sur tout le territoire. Ces structures et dispositifs sont des indicateurs d'un fort contexte de développement dans l'académie, l'inscrivant comme priorité stratégique pour son développement, dans un paradigme systémique, lors des Assises du numérique (Lefer Sauvage, 2021b).

Malgré tout, les usages dans les familles restent très contraints : l'Insee (Audoux et Mallemanche, 2020) montre que même si les familles ont le même taux d'équipement en téléphone portable qu'au niveau national (à savoir 93 % en métropole, 91 % en Guadeloupe, 90 % en Martinique et en Guyane, 92 % à La Réunion et 91 % à Mayotte), l'écart augmente lorsqu'il s'agit de l'équipement en tablettes et PC (taux d'équipement de 17 % dans les familles à Mayotte contre 42 % dans les familles en métropole), et surtout, le revenu mensuel des familles étant très faible sur l'ensemble du territoire, les investissements en numérique sont moindres.

Dans ce contexte ambivalent, entre développement technique exponentiel rapide et freins liés aux contraintes, des recherches (Lefer Sauvage, 2021a; Lefer Sauvage et Bachelot, 2021) ont montré que l'intention de pratiques des tablettes tactiles par les enseignants travaillant à Mayotte était limitée par un ensemble de dynamiques locales sur le territoire. Des conditions matérielles et logistiques apparaissent au premier

abord et rappellent les résultats d'une enquête pour le CNESCO (Blanchard-Schneider *et al.*, 2018) : « en 2016, le nombre d'ordinateurs pour 100 élèves dans les écoles élémentaires va de 1 à Mayotte à 30 en Lozère. [...] À Paris, en Guyane ou à Mayotte, ce sont quatre écoles sur cinq qui ne possèdent pas de tableau blanc interactif » (p. 33). La recherche de Lefer Sauvage et Bachelot (2021), menée à partir d'entretiens semi-directifs auprès de quatre enseignants spécialisés à Mayotte présente la complexité des contraintes écosystémiques (Villemontheix *et al.*, 2014). Par exemple, les circonscriptions régulent strictement les emprunts, en demandant, pour certaines, de rédiger un projet pédagogique avant d'utiliser les tablettes, pour d'autres, d'emprunter le matin et de ramener les tablettes tactiles après la journée en classe, ce qui conditionne fortement la non-appropriation et le non-usage. Ces freins massifs et fréquents dans les circonscriptions interrogent alors des aspects symboliques : les enquêtés déclarent ne pas se sentir en sécurité lorsqu'ils possèdent une tablette tactile et arguent le fait de risquer de se faire agresser ou de se faire voler les tablettes (au regard des conditions sociales de l'île). Dans une recherche complémentaire à cet article (Lefer Sauvage, 2021a) menée auprès de 87 enseignants stagiaires de Mayotte, d'autres contraintes matérielles relevant également de l'écosystème sont très fortement présentes. Lefer Sauvage va jusqu'à interpréter cette insécurité matérielle comme une insécurité psychique des enseignants face aux outils peu utilisés et utilisables, qui entraîne des fantasmes et empêche la genèse instrumentale (Rabardel, 1995).

Au CUFR de Mayotte, le projet d'établissement pour la période 2017 à 2021, mentionne des tensions fortes entre l'offre de formation, les demandes des bacheliers, la limitation des espaces et des infrastructures des bâtiments, et des pédagogies qui doivent s'adapter à une grande diversité des publics, notamment précaires (limitant ainsi, par exemple, le déploiement de l'hybridation des apprentissages). Le rapport du HCERES de février 2020 souligne « le déficit criant d'infrastructures » tant au niveau administratif, pédagogique, de recherche, qu'à destination des étudiants³ (absence de Wifi sur le site par exemple). Ces éléments sont également mis en évidence dans des recherches récentes menées au CUFR. Lefer Sauvage (2021a) rappelle les conditions matérielles et informatiques dans lesquelles

³ « Les étudiants n'ont aucun autre endroit pour travailler entre les cours, alors même que la majorité d'entre eux sont tributaires des transports scolaires (rotation le matin entre 6h30 et 7h et le soir à 17h30, calquées sur les horaires des collèges et lycées) ; il est constant de les voir travailler dans les escaliers, sur le parking, sur des bancs à l'extérieur alors que le climat est rude (températures supérieures à 30 degrés, pluies diluviennes), en l'absence de préau. » (HCERES, 2020, p. 15).

se trouvent les étudiants (pas d'accès Wi-Fi à l'université, pas de salle de classe avec des connexions possibles), qui freinent les intentions de pratique des tablettes tactiles. Cette chercheuse montre d'abord que l'intention de pratique de l'outil tablette à l'université n'a pas de sens, car elle ne répond pas à un besoin, mais certains leviers ont été identifiés et doivent faire l'objet d'analyses statistiques inférentielles complémentaires. Par ailleurs, des zones d'ombre autour des attentes et des espoirs lorsqu'ils arrivent en formation initiale doivent être explorées dans cette nouvelle enquête pour mieux cerner les enjeux qu'engendrent la pratique des tablettes tactiles en formation initiale et des effets potentiels d'une pratique en classe avec des élèves.

4. Problématique de recherche

Les travaux de recherche menés autour des usages et des représentations sociales des usages des tablettes tactiles (Karsenti et Fievez, 2013; Villemonteix *et al.*, 2014) montrent que cette nouvelle technologie apporte des opportunités et des contraintes nouvelles sur l'activité de l'enseignant. Souvent utilisées pour des activités spécifiques (exercices, ressources documentaires, production), elles posent des problèmes techniques (besoin du réseau Wi-Fi, manque d'espace de dépôt...). Elles modifient l'organisation cognitive de l'apprentissage (gestion de fenêtres multiples, organisation des données sous forme d'organigramme, absence de visibilité du processus d'élaboration cognitive des élèves). Elles présentent des nouvelles contraintes institutionnelles (écarts entre les directives ministérielles et les financements de communes qui ne répondent pas aux besoins des activités des enseignants), mais surtout, des contraintes écosystémiques (environnements technique, technologique, ergonomique, économique et infrastructures matérielles). Malgré cela, la pratique des tablettes offre des opportunités pédagogiques spécifiques. Elle favorise l'entrée dans l'activité (Karsenti et Fievez, 2013) notamment par le jeu (Hamon et Villemonteix, 2015), est une aide à la planification, un support à la communication et à l'interaction entre les pairs (Mercier, 2020). L'enjeu de l'usage interroge le poids de la formation initiale des enseignants dans cette transformation des pratiques. Or, les recherches menées dans le cadre universitaire montrent que l'usage des nouvelles technologies en formation initiale n'a pas d'effet à court terme, mais possiblement à long terme, et que les compétences sont fortement contextualisées (Bétrancourt, 2007; Fluckiger, 2008; Peraya, 2018; Peraya *et al.*, 2008). À Mayotte, les contraintes quant à l'accès aux infrastructures et aux matériels demeurent importantes, et freinent les usages des familles et des enseignants en classe. Dès lors, dans une approche psychologique et

ergonomique, notre recherche exploratoire s’inscrit dans les travaux sur l’intentionnalité de pratiques numériques, issus d’abord de Davis (1989), pour ensuite mieux identifier les facteurs qui pourraient participer à cette intention dans le contexte et la culture spécifique de Mayotte. Aussi la dimension anthropologique et techno-imaginaire sera utilisée de façon sous-jacente pour tenter de comprendre les significations des usages à travers l’intention de pratiques. Nous faisons trois hypothèses :

- 1) des facteurs psychologiques (sentiment de compétences et anxiété à l’égard de la tablette tactile, maîtrise instrumentale) et techniques participent à l’intentionnalité ;
- 2) les contextes participent à des valences différentes (craintes, désirs) des dimensions psychologiques de l’intentionnalité ;
- 3) l’intention de pratique des tablettes tactiles dans un certain contexte (à l’université) pourrait médiatiser l’intention de pratique des tablettes tactiles dans un autre contexte (en classe devant les élèves).

La médiatisation est entendue au sens de Rézeau (2002) qui lui-même s’appuie sur la définition de l’instrumentalisation de Rabardel c’est à dire la « *sélection, le regroupement, la production et l’institution de fonctions, détournements, attribution de propriétés, transformation de l’artefact, de sa structure, de son fonctionnement, etc. jusqu’à la production intégrale de l’artefact par le sujet* » (1995, p. 5). Le focus sur les tablettes tactiles est priorisé considérant que c’est un objet mobile qui peut être utilisé dans les deux contextes étudiés.

5. Méthodologie

5.1. Outils de recherche

Un questionnaire en ligne a été soumis aux enquêtés. Le détail du questionnaire est mentionné dans deux recherches antérieures (Lefer Sauvage, 2021a ; Lefer Sauvage et Bachelot, 2021). Le questionnaire reprend les principales dimensions identifiées par Davis (Davis, 1989) dans l’évaluation de l’intention de pratique (facilité perçue, utilité perçue, sentiment de compétences, craintes) :

- « Pensez-vous que l’utilisation des tablettes puisse être utile [en classe avec des élèves/dans vos propres cours au CUFR] ? » ;
- « Avez-vous des craintes par rapport à l’utilisation des tablettes [en classe avec des élèves/dans vos propres cours au CUFR] ? » ;
- « Vous sentez-vous compétent pour utiliser les tablettes [en classe avec des élèves/dans vos propres cours au CUFR] ? » ;
- « Pensez-vous que l’utilisation des tablettes puisse être facile [en classe avec des élèves/dans vos propres cours au CUFR] ? » .

Gaëlle LEFER SAUVAGE

Pour chacune des questions, il est proposé une modalité de réponse en 4 points, allant de « Tout à fait d'accord » (score de 4) à « Pas du tout d'accord » (score de 1). Chacune d'elles est accompagnée d'une question ouverte « pourquoi ? ».

La possession matérielle et les usages possibles sont recueillis à partir d'un item « Avez-vous une tablette chez vous ? » (modalité : OUI/NON) et de 3 questions ouvertes « Quelles applications seriez-vous tenté de tester [auprès de vos élèves/au CUFR] ? », « Dans un monde idéal, qu'est-ce que vous pourriez tester avec la tablette [en classe avec vos élèves/au CUFR] ? », « Quelle question vous posez-vous quand on vous propose des enseignements au CUFR sur la tablette ? ».

Des informations sociogéographiques classiques (âge, sexe, temps passé à Mayotte) sont aussi recueillies. L'ordre des questions est contrôlé pour éviter le biais d'habitation aux questions.

5.2. Population

Sur les 182 professeurs des écoles stagiaires en Master 1, seuls 87 ont accepté de répondre au questionnaire. L'échantillon comporte 59 % de femmes (N = 51) et 41 % d'hommes (N = 36). Les enquêtés ont entre 18 et 30 ans (50 %), puis entre 30 et 40 ans (38 %), les 12 % restant ont plus de 40 ans. Un peu moins de la moitié de l'échantillon vit à Mayotte depuis plus de 10 ans (43 %), 15 % des personnes interrogées vivent à Mayotte depuis quelques mois, 24 % vivent à Mayotte depuis moins de 4 ans et 18 % depuis 4 à 10 ans. Enfin, 38 % des personnes interrogées disent posséder une tablette tactile à leur domicile.

5.3. Protocole

Le détail du protocole est mentionné dans une recherche antérieure (Lefer Sauvage, 2021a). En quelques mots, le questionnaire a été proposé aux enseignants stagiaires en formation initiale lors du second semestre 2020 (avant le second confinement total de l'île du fait de la pandémie de COVID-19). Il a été déposé sur une plateforme utilisée quotidiennement par les étudiants. Ils étaient invités à remplir le questionnaire tout au long du semestre, avant les premières séances formatives autour des tablettes tactiles.

6. Résultats

Les données de l'enquête ont été traitées à partir du logiciel *SPSS 16* pour les analyses descriptives et inférentielles. Les analyses lexicométriques ont été effectuées à partir du logiciel *Antidote*. Les résultats présentent d'abord, en complément d'une recherche antérieure, les analyses descriptives de

l'ensemble des items, mais aussi des analyses de corrélations avant des analyses de régression. Pour rappel, avant d'effectuer une régression linéaire, il faut vérifier la pertinence du modèle de prédiction à partir d'une analyse de variance (ANOVA). Ensuite, des analyses de profils seront dégagées à partir d'indicateurs lexicométriques.

6.1. Intentionnalité de pratique des tablettes tactiles en classe et au CUFR : analyses descriptives et corrélations entre les variables

Les analyses descriptives (tableau 1) réalisées avec SPSS montrent que les scores d'évaluation de l'intention de pratique (utilité et facilité perçues) et des variables dépendantes (sentiment de compétences et craintes) ne présentent pas de différence majeure selon les contextes, aussi bien au niveau des moyennes des scores que de la répartition des scores (écarts-types).

Tableau 1 • Analyse descriptive des moyennes des scores des indicateurs (sentiment de compétences, craintes, facilité et utilité perçues) selon les contextes (en classe versus au CUFR)⁴

Indicateur	En classe moyenne (écart type)	Au CUFR moyenne (écart type)
Sentiment de compétences	3,14 (0,77)	3,1 (0,88)
Craintes de pratique	2,71 (1,2)	1,95 (1,1)
Facilité perçue	2,86 (0,86)	2,86 (0,94)
Utilité perçue	3,77 (0,45)	2,53 (1,15)

Les étudiants enquêtés se considèrent relativement compétents dans la pratique d'une tablette tactile en classe ($X = 3,14$) et au CUFR ($X = 3,1$). Ils se déclarent moyennement anxieux par une pratique en classe ($X = 2,71$) et au CUFR ($X = 1,95$). Ils considèrent aussi que l'utilisation d'une tablette est relativement aisée en classe ($X = 2,86$) et au CUFR ($X = 2,86$), mais sensiblement plus utile en classe ($X = 3,77$) qu'au CUFR ($X = 2,53$).

Les analyses de corrélations effectuées avec l'ensemble des variables montrent que l'intentionnalité de pratique en classe n'est liée à aucune variable sélectionnée. L'intentionnalité de pratique des tablettes tactiles au CUFR est en revanche liée à certaines variables dépendantes (tableau 2).

⁴ Rappel : L'échelle qualitative comporte 4 modalités de réponses de « Tout à fait d'accord » (score de 4) à « Pas du tout d'accord » (score de 1).

Tableau 2 • Corrélations significatives entre intentionnalité de pratique (facilité et utilité perçues) et variables dépendantes

	r	p
Facilité perçue au CUFR		
* sentiment de compétences classe	0,26	0,02
* utilité perçue CUFR	0,41	< 0,000 01
* sentiment de compétences CUFR	0,63	< 0,000 01
Utilité perçue au CUFR		
* facilité perçue CUFR	0,41	< 0,000 01
* sentiment de compétences CUFR	0,24	0,32

Ces premières corrélations montrent un lien fort entre les deux dimensions de l'intentionnalité et avec le sentiment de compétences de pratique des tablettes tactiles au CUFR. Dans les deux dimensions de l'intentionnalité de pratique des tablettes tactiles au CUFR, le sentiment de compétences apparaît comme variable liée. Dès lors, il s'agit de comprendre de possibles effets médiateurs ou modérateurs de l'intentionnalité par le sentiment de compétences.

6.2. Régression linéaire de l'intentionnalité de pratique des tablettes tactiles en classe et au CUFR

Lorsque l'on croise les différentes variables pour déterminer le poids du contexte sur les intentions d'usage, il semble que certaines frontières des contextes puissent dépasser les intentions d'usages. Certes, si l'on cherche à comprendre l'intention d'utilisation des tablettes en classe (utilité et facilité) à travers des intentions de pratiques au CUFR, en croisant ou non avec l'ensemble des variables psychologiques explicatives, aucun lien significatif n'apparaît. Cependant, le sentiment de compétences en classe ($\text{Khi}^2(8) = 16,6, p < 0,05$) et l'utilité perçue de la tablette en classe ($\text{Khi}^2(8) = 11,5, p < 0,10$) participent à la genèse de l'utilité perçue au CUFR.

La première régression linéaire concerne l'utilité perçue (avec une seule variable indépendante, le sentiment de compétences au CUFR) et la seconde régression concerne la facilité perçue (avec deux variables indépendantes, le sentiment de compétences au CUFR et en classe). Même si le modèle de régression effectué ici est limité (une ou deux variables indépendantes), ces premières analyses permettront de confirmer le poids du sentiment de compétences dans l'utilité perçue et la facilité perçue, en contrastant avec le modèle initial de Lefer Sauvage (2021a).

Dans notre recherche, nous obtenons les résultats suivants : $F(1,76) = 4,75$, $p = 0,32$, $R^2_{\text{ajusté}} = 0,046$. Ainsi, il y a une relation statistiquement significative entre l'utilité perçue de la pratique au CUFR et la variable indépendante (sentiment de compétences au CUFR), cette dernière expliquant 4,6 % de la variation de l'utilité perçue.

Dans le second modèle, l'ANOVA n'est pas significative. En excluant le sentiment de compétences en classe, l'ANOVA devient significative : $F(1,76) = 23,43$, $p < 0,001$, $R^2_{\text{ajusté}} = 0,367$. Ainsi, il y a une relation statistiquement significative entre la facilité perçue de la pratique au CUFR et le sentiment de compétences au CUFR, cette dernière expliquant 36,7 % de la variation de la facilité perçue.

Dès lors, est-ce que cette première structuration de l'intentionnalité met en valeur des profils de réponses chez les étudiants ?

La seule variable indépendante (parmi le sexe, le temps passé à Mayotte, la possession de tablette tactile personnelle et le nombre d'applications citées) qui apparaît significative dans les corrélations, est la possession ou pas d'une tablette tactile personnelle, en lien avec le sentiment de compétences pour une pratique en classe ($r = -0,34$, $p = 0,002$). La plupart des étudiants enquêtés questionnés n'ont pas de tablettes. Les personnes qui possèdent une tablette personnelle ($N = 33$) considèrent que c'est un outil plutôt utile ou utile en classe ($N = 32$) et que c'est facile ou plutôt facile à utiliser en classe ($N = 28$). Les étudiants qui possèdent une tablette personnelle n'ont pas de craintes par rapport à la pratique en classe ($N = 20$) et se sentent compétents ou plutôt compétents ($N = 31$). La moitié de ce sous-échantillon ($N = 16$) considère que c'est utile au CUFR quand l'autre moitié considère que ce n'est pas utile au CUFR. La plupart considèrent que ce n'est pas facile à utiliser au CUFR ($N = 20$)⁵. Parmi les enquêtés qui ne déclarent ne pas posséder une tablette ($N = 54$), la plupart ($N = 37$) ont des craintes par rapport à la pratique en classe tout en se sentant compétents ou plutôt compétents ($N = 40$).

Le faible nombre de sujets par sous-groupe ne permet pas de réaliser une ANOVA ou une régression, mais il semble que le fait de posséder une tablette tactile chez soi pourrait agir symboliquement, comme un objet transitionnel entre les contextes d'usage (Mercier, 2020) qui faciliterait les liens entre les intentions d'usage au CUFR et ceux en classe. La non-possession personnelle d'une tablette agirait sur l'augmentation des craintes par rapport à l'intention

⁵ Aucun répondant n'a choisi la modalité «pas du tout facile».

d'utilisation en classe (mais pas sur une meilleure connaissance déclarée de l'outil tablette ni des applications existantes). Le sentiment de compétences reste très lié à l'utilité perçue de la pratique, indépendamment des contextes d'exercice, même s'il ne permet pas de discriminer des profils d'intention d'utilisation. L'intention de pratique au CUFR semblerait plus explicative des intentions en classe plutôt que l'inverse.

6.3. Applications numériques pratiques en classe et au CUFR : vers des usages déduits idéaux et redoutés

Dans l'ensemble de l'échantillon des 87 étudiants interrogés, plus d'un tiers (N = 33) déclare posséder une tablette personnelle, 19 déclarent ne connaître aucune application précise à utiliser en classe, et 76 déclarent ne connaître aucune application précise à utiliser au CUFR. Par rapport aux questions sur les applications connues et qui pourraient être potentiellement testées en classe auprès des élèves, le logiciel *Antidote* mentionne 737 mots utilisés pour évoquer des applications susceptibles d'être testées en classe (« prêt à tester en classe »), 882 mots pour évoquer des applications « qu'on peut utiliser en classe », et 183 mots pour évoquer des applications que les étudiants seraient « prêts à tester » au CUFR. Sur l'ensemble de ces mots, nous comptabilisons la diversité des applications citées, le nombre de réponses « je ne sais pas » ou « non », mais aussi le nombre d'applications citées différentes (tableau 3).

Tableau 3 • Nombres d'applications sur tablettes citées dans le cadre du contexte de la classe et du CUFR

	Je ne sais pas ou je ne connais pas	Applications précises citées	Applications citées différentes
Pour la classe	9	143	72
Prêt à tester en classe	19	70	35
Pour le CUFR	76	12	5

Pour cela, nous regroupons dans une seule dimension les données redondantes (par exemple, sont comptabilisés comme une seule application les éléments suivants: « Multiplication avec Math Mathews » et « Calcul Mental avec Math Mathews »). Deux types d'informations ne sont pas comptabilisées dans les applications (N = 8 réponses): une erreur apparente entre la notion « d'applications » et de « site Internet » (par exemple, « La littérature courte interdite aux parents » ou encore « 34 outils pour l'école »), et des approximations comme: « faire des jeux de logique », « androïde », « jeux pour lire », « jeux de mémoire », « jeux de lecture », « jeux de graphisme ».

À la suite de ces résultats chiffrés (tableau 3), les verbatim permettent de préciser les usages potentiels ou souhaités.

6.3.1. Usages idéaux et usages empêchés au CUFR

À l'université (CUFR), les principales applications citées sont essentiellement des applications du « constructeur », disponibles directement sur les tablettes (donc ne nécessitant pas de téléchargement particulier), notamment « photos » pour « prendre des photos des cours », « son » pour enregistrer les enseignements ou encore « internet ». Trois applications téléchargées⁶ *a priori* sont mentionnées : « Youtube », « prise de notes » et « Moodle ». En complément, les pratiques idéales d'apprentissage (en tant qu'étudiant) envisagées avec les tablettes tactiles nécessitent 3 types de compétences :

- La gestion des données, avec le stockage « Tous les documents qu'on nous distribue en version papier numérisé, stocker dans un cloud facile d'accès pour limiter les impressions. Des applications *moodle*, boîte mail univ et hyperplanning qui sont accessibles facilement. Et buguant le moins possible » ;

- La création de contenus multimédias, avec de nombreux détails (logiciel, paramètres) bureautiques : « Enregistrer les cours et les ranger par bloc ensuite par discipline », « Prendre des notes », « Prendre des photos de cours » ;

- La collaboration et le partage : « Le travail collaboratif », « Partage et échange sur nos travaux et nos pratiques », « Utilisation de PAD pour les travaux en groupe ».

Ces compétences répondent à des besoins particuliers, notamment économiques : « Enregistrement vocal de mes propres prises de note des cours pour aller plus vite », ergonomiques (plus léger, performant, transportable) : « La tablette prendrai[t] des notes de synthèse du cours », et sont soumises à des accès techniques au sein du CUFR : « Avoir la connexion au CUFR », « Avoir un réseau au CUFR ». Trois réponses renvoient directement à des mythes d'un idéal d'usage, et sont de l'ordre de la dévolution du travail d'apprentissage à la tablette tactile : « La tablette idéale répondrait à toute mes attentes, sur demande », « Je vis dans "un monde idéal" et je serai prêt à tout tester avec ma tablette ». Les étudiants témoignent ici d'un idéal technologique où l'apprentissage ne subit aucune frustration puisqu'il est dévolu à la tablette tactile. La prise

⁶ Très probablement, même si cela dépend du constructeur et que nous n'avons pas cette information à disposition.

de notes reste un besoin essentiel dans la vie d'un étudiant et la tablette pourrait y répondre.

6.3.2. Usages idéaux et usages empêchés en classe

À l'école, les principales applications citées sont d'abord des applications disciplinaires ciblées, en majorité le français (apprentissage de la langue française, lecture, écriture, compréhension) et les mathématiques (géométrie, algèbre, calcul), dont une trentaine renvoie à des applications précises : « Scratch, Géogebra, J'écris En Cursive, Kaligo, Dire, Lire, Écrire, BookCreator ».

Sur les 107 applications très spécifiques sur l'ensemble des verbatim « Gcompris, Pays du monde, L'abc des animaux, Domino », etc., finalement, on identifie 4 applications exclusives, non connues et que les étudiants sont prêts à tester « Babel, 50 langues, AB math, Puzz and road ». Les deux premières visent un apprentissage des langues, les deux suivantes visent un entraînement au calcul mental et à la logique mathématique.

Contrairement aux usages idéaux et aux usages empêchés au CUFR, les applications téléchargées destinées au contexte de la classe sont beaucoup plus nombreuses que les applications « constructeur ». L'explicitation de l'objectif pédagogique visé est également détaillée (29 et 14 occurrences à la préposition « pour » selon les questions « connues pour la classe ou prêt à tester »), là où l'objectif d'apprentissage au CUFR l'est rarement. Pour la classe, quatre critères sont mentionnés comme affectant les choix d'application : une discipline ciblée, un apprentissage spécifique « amélioration de la fluence et apprentissage de la lecture sans oublier qu'il faudrait qu'ils soient ludiques », une pédagogie générale « différenciée » et une population particulière (quatre mentions d'élèves en maternelle, deux en cycle 3 et un en CP).

7. Conclusion et discussions

L'objectif de cette recherche est de comprendre, à travers une conceptualisation enrichie de l'intentionnalité de pratiques des tablettes tactiles (telle que nous l'avons évoquée), les facteurs psychologiques qui pourraient participer à cette intention de pratique, en faisant l'hypothèse que l'intention de pratique des tablettes tactiles dans un certain contexte (à l'université) peut médiatiser l'intention de pratique des tablettes tactiles dans un autre contexte (en classe devant les élèves). La méthodologie a une visée réflexive : interroger les enseignants stagiaires sur leur propre intention de pratique des tablettes tactiles. Au total, 87 étudiants sont enquêtés à partir d'un questionnaire, disponible en ligne. Les résultats de

cette enquête ont été mis à disposition des enquêtés, et les données issues de ces analyses sont intégrées dans le dispositif de formation, pour améliorer la formation par la recherche.

Un des premiers éléments importants de cette recherche est que l’outil tablette tactile (au sens de l’artefact, selon Rabardel, 1995) n’est pas considéré de la même façon selon le contexte université *versus* école (hypothèse 3 non validée). Une grande partie des étudiants ne possèdent pas de tablette tactile personnelle et n’en font pas usage dans leur quotidien. Les besoins d’outils numériques en formation initiale sont réduits au premier abord à une prise de notes. La tablette ne permet pas d’y répondre aisément et entre en concurrence avec d’autres outils considérés comme plus performants (ordinateurs portables, papier/crayon). Des besoins liés à des problématiques techno-ergonomiques sont majoritairement mentionnés (prise de notes, artefact léger, stockage des données), ainsi qu’une pratique multimédia de la tablette (effectuer en même temps une vidéo des enseignements, une prise de notes des enseignements, un enregistrement audio). Ces éléments témoignent d’une faible possibilité d’implication des étudiants dans leur contexte et formation universitaire par rapport à leur formation professionnelle en classe. Ces éléments questionnent l’importance du « pouvoir d’agir » (Rabardel, 1995) des étudiants dans leur pratique des outils dans leur formation universitaire.

Un second résultat de cette enquête est que la possession de matériel (tablette) favorise l’intention d’utilisation en classe auprès des élèves ou au CUFR. Les résultats tendent à montrer que cette variable agit comme un facilitateur des liens entre les contextes d’intention de pratique.

Mais la variable centrale dans le modèle de régression esquissé demeure le sentiment de compétences au CUFR, qui agit directement sur l’utilité perçue et la facilité perçue au CUFR. Or, l’intentionnalité de pratique des tablettes en classe n’est pas liée aux variables psychologiques prises en compte dans cette recherche (notamment au sentiment de compétences), ni dépendante de celles-ci. Aussi, ces premiers résultats interrogent le fait que l’intentionnalité se construise avec les mêmes processus selon les contextes (hypothèse 2 validée). Plus encore, nos résultats amènent à revoir les dimensions de l’intentionnalité, puisque selon les contextes, elle se définit soit par les deux dimensions (déjà identifiées par Davis en 1989, à savoir utilité perçue et facilité perçue), soit par aucune des deux directement. Ces résultats laissent penser qu’on pourrait avoir des formes et des modélisations différentes (avec des effets médiateurs dans certains

contextes, mais pas dans d'autres) et des processus variés (entre identification/idéalisation, dés-identification et craintes) dans la genèse de l'intentionnalité. D'ailleurs, ces résultats vont dans le sens des travaux de Nogry et Sort (2016), recueillis avec une méthodologie qualitative, qui montrent que l'intention de pratiques reste un facteur important à étudier, dans certains cas, un préalable à l'appropriation et l'usage réel d'une technologie. Mais les chercheuses notent aussi que l'utilité perçue est un indicateur plus pertinent que la facilité perçue, et que le sentiment de compétences peut être déterminant à l'usage et à l'intention de pratiques.

Une troisième analyse a été effectuée sur la base de contrastes dans la population enquêtée et, notamment, la possession d'une tablette dans la sphère personnelle. Les résultats tendent à montrer que cette variable agit non seulement comme un facilitateur des liens entre les contextes d'intention de pratiques des tablettes tactiles (hypothèse 1 validée), mais surtout, comme une variable dépendante pouvant impacter le sentiment de compétences. À travers les justificatifs des étudiants enquêtés quant à la pratique de certaines applications par rapport à d'autres, certains explicitent leur choix d'application soit pour agir « sur » (les aspects disciplinaires), soit pour agir « pour » (l'apprentissage par exemple). Or, cette dichotomie pourrait faire référence à la genèse instrumentale de Rabardel (1995) : les justificatifs « agir sur » concernent les compétences en lien avec l'utilisation et l'enrichissement de l'activité par l'outil numérique (instrumentalisation), alors que les justificatifs « agir pour » renvoient essentiellement à la modification de l'activité par le sujet pour utiliser les fonctionnalités des tablettes et des applications ciblées (instrumentalisation). Le fait de considérer que les compétences numériques (en lien avec le CRCN) puissent renvoyer à des besoins spécifiques en termes de genèse instrumentale reste à approfondir mais demeure une piste innovante de recherches esquissée très récemment (Mercier et Lefer Sauvage, 2022).

Pour finir, les résultats mettent en valeur un ensemble de mythes autour du numérique, notamment la toute-puissance de l'humain grâce à l'outil, mais aussi que l'outil réponde à toutes les frustrations et aux besoins des étudiants, ce que Amadiou et Tricot (2014) ont montré depuis 2014. Certes, on peut imaginer que la technophilie affichée des étudiants réponde à un contrat didactique avec le formateur, d'autant que cette enquête a été proposée dans le cadre des enseignements universitaires et en période de pandémie mondiale, ce qui constitue deux limites à cette recherche, mais la question demeure quant aux conséquences de l'évolution numérique et matérielle exponentielle sur le territoire dans les

usages et l'inconscient collectif de la population mahoraise. Lefer Sauvage et Kerneis (2021) ont montré que la mise en place de collectifs étudiants-chercheurs à Mayotte pouvait renforcer des inégalités déjà patentées et maintenir des pratiques assujettissantes entre les populations, qui sont interprétées sur le plan culturel comme une forme de colonisation. Aussi, pour éviter un sentiment similaire lorsqu'on travaille en formation initiale à partir des outils numériques, il semble que le « pouvoir d'agir » (Rabardel, 1995) des acteurs sur les outils numériques reste une variable fondamentale dans l'intentionnalité de pratique des TICE.

En conclusion, ces éléments doivent être complétés pour aller dans le sens d'un meilleur accompagnement pédagogique universitaire, au plus proche des besoins des étudiants, et encouragent même la conception des apprentissages universitaires avec eux. L'intentionnalité de pratique est un facteur essentiel dans l'appropriation, mais la démarche inclusive des enseignants dans cette pratique (dans une conception bottom-up rendant possible le pouvoir d'agir) reste fondamentale pour éviter la désimplification et tenter un changement de posture et de rapport à la technologie (Picard-Gallart, 2019). La mise en place de la plateforme d'autoformation et de certification PIX auprès des enseignants stagiaires à partir de septembre 2021 au CUFR de Mayotte et une possible généralisation sur l'ensemble de la formation initiale interrogent. Les espaces de frontières entre les identités estudiantines et professionnelles semblent difficilement communiquer, sans pour autant créer un espace « d'inter-métier » (Thomazet et Merini, 2015). Soutenir les enseignants stagiaires dans leur capacité métaréflexive en proposant des situations qui permettent de créer des attentes quant à leur pratique de la tablette en situation didactique semble alors être une phase essentielle de leur construction identitaire et de maîtrise des TICE. Un des risques forts quant à l'usage de la tablette tactile est de considérer que cet outil « miracle » va aider les élèves en difficulté puisqu'il va les réinscrire dans une dynamique d'apprentissage. Or, cette conception demeure un mythe autour de la pratique des tablettes tactiles au détriment de l'analyse didactique et d'une prise en compte du collectif dans l'apprentissage.

RÉFÉRENCES

Amadiou, F. et Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique : mythes et réalités*. Retz.

Attenoukon, S. A., Karsenti, T. et Lepage, M. (2015). L'apprentissage avec des supports mobiles dans l'enseignement supérieur au Bénin : analyse des usages des apprenants. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire. International Journal of Technologies in Higher Education*, 12(3), 62-74.

Audoux, L. et Mallemanche, C. (2020). *L'équipement courant des ménages des DOM proche de ceux de métropole, hormis à Mayotte* (Rapport Insee, n° 181, janvier).

Baron, G.-L. et Bruillard, E. (2008). Technologies de l'information et de la communication et indigènes numériques : quelle situation ? *Sticef*, 15. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00696420/document>

Bétrancourt, M. (2007). L'ergonomie des TICE : quelles recherches pour quels usages sur le terrain ? Dans B. Charlier et D. Peraya (dir.), *Transformation des regards sur la recherche en technologie de l'éducation* (p. 77-89). De Boeck.

Béziat, J. (2012). Former aux TICE : entre compétences techniques et modèles pédagogiques. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire. International Journal of Technologies in Higher Education*, 9(1-2), 53-62.

Béziat, J. et Villemonteix, F. (2016). Les TICE au quotidien : suffit-il d'en faire ? Le cas de l'école primaire en France. *Éducation & Formation*, 30(42), 41-52.

Blanchard-Schneider, A., Botton, H., Mileto, V. et Caro, P. (2018). *Panorama des Inégalités scolaires d'origine territoriale en France* (Rapport Cnesco).

Caradec, V. (1999). Vieillesse et usage des technologies. Une perspective identitaire et relationnelle. *Réseaux*, 17(96), 45-95.

Cerisier, J.-F. (2020). *Injonctions numériques : entre techno-enthousiasme et pratiques collectives* [communication orale]. Ludovia, Ax-les-Thermes, France. <https://www.ludovia.fr/2020/speaker/jean-francois-cerisier-poitiers/>

Conseil départemental de Mayotte (2013). *Schéma directeur territorial d'aménagement numérique du département de Mayotte*. https://www.cg976.fr/ressources/dsic/?file=SDTAN_Mayotte

CRCN (août, 2019). Décret n° 2019-919 du 30 août 2019 relatif au développement des compétences numériques dans l'enseignement scolaire, dans l'enseignement supérieur et par la formation continue, et au cadre de référence des compétences numériques. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039005162>

Davis, F. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 3(4), 319-340.

Dubois, M. et Bobillier-Chaumon, M.-E. (2009). L'acceptabilité des technologies : bilans et nouvelles perspectives. *Le Travail humain*, 72(4), 305-310.

Fluckiger, C. (2008). L'école à l'épreuve de la culture numérique des élèves. *Revue française de pédagogie*, 163, 51-61. <http://journals.openedition.org/rfp/978>

Georges, C. (1964). L'anticipation dans la résolution d'une tâche complexe. *L'Année psychologique*, 64(1), 83-10.

Guichard, J. (2004). Se faire soi. *L'Orientation scolaire et professionnelle*, 33, 499-534.

Hamon, D. et Villemonteix, F. (2015). Le rapport des élèves et des enseignants aux tablettes numériques à l'école primaire : vers une évolution de la forme scolaire ? *Distances et Médiations des savoirs*, 11. <https://dms.revues.org/1143>

HCERES (2020). *Rapport d'évaluation du centre universitaire de formation et de recherche (CUFR) de Mayotte : campagne d'évaluation vague E, 2018-2019*. <https://de-etab210019142-rd.pdf>

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

Lefer, G. (2012). *Les « sois possibles », développement des espoirs et des peurs chez les élèves de 8 à 10 ans, liens avec le soi scolaire et les performances académiques* [Thèse de doctorat en psychologie, Université de Nantes, France].

Lefer Sauvage, G. (2021a, juin). Intention d'usage des tablettes en formation initiale d'enseignants à Mayotte. Dans *Actes de la 10^e Conférence sur les environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (EIAH 2021) (p.106-117). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03276453>

Lefer Sauvage, G. (2021 b, novembre). *Numérique pédagogique* [communication]. Assises du numérique à Mayotte, Mamoudzou, Mayotte.

Lefer Sauvage, G. et Bachelot, S. (2021). Étude exploratoire de l'intention d'usage des tablettes tactiles par des enseignant.e.s d'ULIS-école à Mayotte. Dans M. Priolet (dir.), *L'école à Mayotte : approches plurielles* (p. 121-154). Sépia.

Lefer Sauvage, G., Genevois, S. Wallian, N. et Mercier, C. (2020). Les « co-errances » identitaires professionnelles chez les enseignant.e.s stagiaires à l'épreuve de la COVID-19. *Formation et profession : revue scientifique internationale en éducation*, 28(4, hors-série), 1-12.

Lefer Sauvage, G. et Kerneis, J. (2021, juin). *Des ingénieries coopératives de type étudiant.e.s-chercheur.e.s à Mayotte en 2020 : entre utopies et hétérotopies ?* [communication]. 2^e Congrès international de la Théorie de l'action conjointe en didactique : pour une reconstruction de la forme scolaire d'éducation, Nancy, France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03276729>

Lefer Sauvage, G., Mercier, C., Lopez-Cazaux, S. et Vannier, M.-P. (2021, avril). *Étude exploratoire de l'étayage instrumenté dans le domaine de l'éducation à la santé pour des adolescents avec autisme* [communication]. 8^e Colloque international en éducation, CRIFPE, Montréal, Canada.

Mercier, C. (2020). Accompagner les élèves avec autisme dans des espaces coéducatifs avec un outil numérique de planification. *Journal of Translation and Languages*, 19, 101-116.

Mercier, C. et Lefer Sauvage, G. (2022). Facteurs de protection et modélisation du bien-être universitaire des étudiants en formation à distance. Dans P.-O. Weiss et M. Ali (dir.), *L'éducation aux marges en temps de pandémie. Précarités, inégalités et fractures numériques* (p. 226-241). Presses universitaires de Provence.

Nogry, S. et Sort, C. (2016). Le temps de l'appropriation d'une classe mobile par les enseignants à l'école primaire. *Distances et médiations des savoirs*, 16. <https://doi.org/10.4000/dms.1655>

OCDE. (2015). *Connectés pour apprendre ? Les élèves et les nouvelles technologies* [rapport]. <https://-pour-apprendre-les-eleves-et-les-nouvelles-technologies-principaux-resultats.pdf>

Peraya, D. (2018). Technologies, innovation et niveaux de changement : les technologies peuvent-elles modifier la forme universitaire ? *Distances et médiations des savoirs*, 21. <http://journals.openedition.org/dms/2111>

Peraya, D. et Bonfils, P. (2014). Détournements d'usages et nouvelles pratiques numériques : l'expérience des étudiants d'Ingémédia à l'Université de Toulon. *Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation*, 21, 239-268.

Peraya, D., Lombard, F. et Bétrancourt, M. (2008). De la culture du paradoxe à la cohérence pédagogique. Bilan de 10 années de formation à l'intégration des TICE pour les futur.e.s enseignants du primaire à Genève. *Formation et pratiques d'enseignement en question*, 7, 11-28.

Picard-Gallart, A. (2019). L'intégration des technologies numériques à l'École : discours et pratiques en tension. Étude d'une expérimentation « tablettes » en collège [thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France]. <https://theses.hal.science/tel-02887170/document>

Plantard, P. (2014). Usages des technologies numériques : innovations et imaginaires. Dans P. Musso (dir.), *Industrie, imaginaire et innovation* (p. 57-68). Manucius. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01739497/document>

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

Rezeau, J. (2002). Médiation, médiatisation et instruments d'enseignement : du triangle au « carré pédagogique ». *ASP*, 35-36, 183-200. <https://doi.org/10.4000/asp.1656>

Thomazet, S. et Merini, C. (2015). L'école inclusive comme objet frontière. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, 70-71(1-3), 137-148.

Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G. et Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. Dans *Actes de la Conférence Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (EIAH 2003) (p. 391-402). <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000154/document>

Venkatesh, V. (2000). Determinants of perceived ease of use: Integrating control, intrinsic motivation, and emotion into the technology acceptance model. *Information system research*, 11(4), 342-365.

Venkatesh, V. et Davis, F.J.D. (1996). A model of the antecedents of perceived ease of use: Development and test. *Decision Sciences*, 27(3), 451-481. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1996.tb00860.x>

Villemonteix, F., Hamon, D., Nogry, S., Séjourné, A., Hubert, B. et Gélis, J.-M. (2014). *Expérience tablettes tactiles à l'école primaire - ExTaTE* [rapport de recherche]. Laboratoire EMA - Université de Cergy-Pontoise. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01026077v2/document>

Wittgenstein, L. (2004). *Recherches philosophiques* [Philosophische Untersuchungen] (F. Dastur, M. Élie, J.-L. Gautero, D. Janicaud et É. Rigal, trad.). Gallimard. (Ouvrage original publié en 1953.)



Rétroactions dans un environnement numérique d'apprentissage : modèle de description et décision

► **Sébastien JOLIVET** (IUFÉ, UNIGE et LDAR, Université de Paris), **Amel YESSAD, Mathieu MURATET** (LIP6, Sorbonne Université), **Elann LESNES** (LDAR, Université Rouen-Normandie), **Brigitte GRUGEON-ALLYS** (LDAR, Université Paris-Est Créteil), **Vanda LUENGO** (LIP6, Sorbonne Université)

■ **RÉSUMÉ** • L'article introduit un modèle de description des rétroactions épistémiques et un modèle informatique de décision de ces rétroactions. Le modèle de description est fondé sur des connaissances didactiques et a pour objectif d'être suffisamment explicite pour aider à la décision automatique des rétroactions. Le modèle informatique de décision combine des connaissances expertes et un algorithme d'apprentissage par renforcement. La faisabilité de l'approche est évaluée avec la réification du modèle et son intégration à une implémentation du modèle décisionnel.

■ **MOTS-CLÉS** • modèle de rétroaction épistémique, modèle informatique de décision de rétroaction, apprentissage par renforcement.

■ **ABSTRACT** • *This paper introduces a model for describing epistemic feedbacks and a computer model for deciding these feedbacks. The description model is based on didactic knowledge and aims to be sufficiently explicit to allow the automatic decision-making of feedbacks. The computational decision model combines expert knowledge and a RL algorithm. Initial evaluations of the description model were carried out to verify its descriptive capacity. In addition, the reification of the model and its integration into an implementation of the decision-making model made it possible to show the feasibility of the approach.*

■ **KEYWORDS** • *epistemic feedback model, computer model of feedback decision, reinforcement learning.*

1. Introduction

Les rétroactions jouent un rôle important tout au long de l'apprentissage (Hattie et Timperley, 2007 ; Shute, 2008). Du point de vue des environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) ces rétroactions peuvent prendre différentes formes (réponse correcte, rétroaction motivationnelle, vérification, explication de l'erreur, etc.) et intervenir à différents moments de l'interaction. Par ailleurs, plusieurs travaux cherchent à classer les rétroactions (produites par le système ou l'enseignant) à des fins explicatives ou d'aide pour l'enseignant. Cependant, ces différents travaux ne permettent pas de décrire le contenu de la rétroaction du point de vue des connaissances en jeu d'apprentissage. Enfin, il n'y a pas de véritable consensus sur les choix des rétroactions pour avoir un effet sur l'apprentissage.

Par ailleurs, les techniques informatiques pour produire des rétroactions adaptées sont variées : production des règles, réseaux bayésiens, traitement automatique de la langue, etc. (Bimba *et al.*, 2017). Ces méthodes symboliques basées sur l'expertise humaine sont complexes à mettre en place et difficiles à faire évoluer dynamiquement, au fil des interactions avec les apprenants. Elles peuvent être combinées avec des méthodes numériques pour permettre une meilleure évolution dans le temps et une meilleure adaptation aux profils des apprenants.

Ainsi, l'objet de cet article est de présenter un modèle de description des rétroactions épistémiques et un système de décision de ces rétroactions pour des environnements d'apprentissage numériques. Nous débutons en section 2 par un état de l'art qui nous permet de mettre en évidence différents verrous scientifiques et solutions liés aux rétroactions, en particulier : 1) comment décrire les rétroactions épistémiques en se fondant sur des connaissances didactiques et 2) comment modéliser un système décisionnel calculable s'appuyant à la fois sur cette description, sur des hypothèses didactiques relatives à la rétroaction et sur des connaissances issues des données d'interaction entre l'apprenant et le système.

Nous présentons en section 3 notre modèle de description fondé sur des connaissances didactiques qui sont également introduites. Puis nous abordons en section 4 la question de la décision des rétroactions, en tant que problème de décision dans l'incertain.

Dans la section 5, nous présentons les premières évaluations du modèle de description ainsi qu'une première preuve de concept, ou démonstration

de faisabilité, dans l'étude du cas *Mindmath*, qui permet de mettre en relation le modèle de description avec le modèle de décision.

La conclusion, en section 6, nous permet alors d'aborder les limites et les perspectives ouvertes par ce travail, en particulier l'adéquation du modèle de description proposé par rapport aux questions initiales et les difficultés soulevées par la production effective des rétroactions.

2. État de l'art et verrous scientifiques

De façon générale, la rétroaction peut être définie comme une intervention d'un agent extérieur afin de fournir de l'information concernant des aspects liés à l'exécution d'une tâche (Kluger et DeNisi, 1996, p. 255). Dans cet article nous nous intéressons aux rétroactions dans des situations d'apprentissage où l'apprenant interagit avec un environnement informatique. Nous définissons la rétroaction comme une intervention faite par un système informatique suite à l'exécution d'une tâche d'apprentissage.

2.1. Éléments généraux sur les rétroactions

Une des revues de la littérature sur les rétroactions en situation d'apprentissage (Hattie et Gan, 2011) montre que différentes perspectives psychologiques fournissent des cadres distincts pour décrire différentes visions de l'apprentissage, ainsi que la nature, les caractéristiques et la fonction de la rétroaction.

Tel qu'indiqué par Mory (2004, p. 745), les rétroactions peuvent faire référence non seulement à l'exactitude ou non d'une réponse, mais aussi à d'autres informations, telles que la précision de la réponse, l'accompagnement dans la tâche, des conseils plus généraux ou des messages liés à la motivation.

L'effet de ces rétroactions sur l'apprenant est un sujet sur lequel il n'y a pas de consensus.

Cependant, Wisniewski et ses collègues (2020) signalent dans une revisite de l'article *The power of feedback* (Hattie et Timperley, 2007), que les rétroactions ont un impact plus important sur l'apprentissage que sur la motivation et le comportement. Stobart (2018, p. 46) pointe le fait que l'impact de la rétroaction n'est pas le même selon le niveau, en termes de compétences et d'expérience, de l'apprenant. Par ailleurs, des travaux tels que ceux de Brooks *et al.* (2019) et Small et Lin (2018) montrent l'importance de la prise en compte de l'erreur et les diverses formes de cette prise en compte.

2.2. Les rétroactions épistémiques

Nous avons choisi de nous intéresser uniquement aux rétroactions épistémiques, définies comme relatives à la connaissance en jeu dans l'activité (Luengo, 2009, p. 14), ces rétroactions étant choisies et produites par le système informatique. C'est donc pour nous une problématique à la croisée de l'informatique et de la didactique comme l'a formulé Luengo (2009, p.1): « pour un contenu spécifique, ayant analysé l'activité de l'apprenant, choisir la rétroaction à produire pour faire évoluer cette connaissance de façon optimale (choix du moment, de la nature, de la modalité) ».

2.3. Le choix du moment de la rétroaction

En ce qui concerne le choix du moment, Van Lehn (2006) propose de distinguer les rétroactions selon deux types de boucles : boucle interne (*inner loop feedback*) et boucle externe (*outer loop feedback*). La rétroaction en boucle interne est produite pendant la résolution d'une tâche particulière, alors que la rétroaction en boucle externe est produite en ciblant une tâche finale ou un ensemble de tâches. La rétroaction de type boucle interne fournit généralement des informations sur l'exactitude d'une solution (partielle ou non), combinées à des conseils sur la façon de corriger les erreurs et/ou la manière de procéder pour résoudre la tâche en cours. Les tuteurs intelligents sont un exemple classique, car ils proposent des rétroactions à chaque étape de résolution. La rétroaction en boucle externe utilise l'état actuel des connaissances de l'apprenant, dans un domaine donné, pour sélectionner les tâches ou activités à proposer pour la suite (VanLehn, 2011). Des effets positifs des rétroactions tant dans des boucles internes (VanLehn, 2011) que dans des boucles externes (Bull et Kay, 2016) ont été mesurés et ces deux types de rétroactions sont implémentés dans des environnements d'apprentissage. Dans notre cas, nous nous intéressons aux rétroactions en boucle interne.

2.4. La nature de la rétroaction

La nature de la rétroaction est relative à l'information qu'elle contient. Ici, nous nous intéressons en particulier aux rétroactions formatives, car elles ciblent le processus d'apprentissage (Shute, 2008, p. 154). Pour ce type de rétroactions plusieurs catégories ont été proposées. Leibold et Schwarz (2015) signalent quatre types de rétroactions selon la nature des informations qu'elles contiennent (feedback correctif - feedback épistémique - feedback suggestif - feedback épistémique et suggestif). Shute (2008, p.160), synthétisant de nombreux travaux, propose de

multiples critères qui l'amènent à une typologie des rétroactions ordonnées par complexité croissante (*No feedback, Verification, Correct response, Try again, Error-flagging, Elaborated, Attribut isolation, Topic Contingent, Response continent, Hints/cues/prompts, Bugs/misconceptions, Informative Tutoring*). Murray *et al.* (2018, p. 86) proposent une taxonomie des rétroactions dans le cadre des rétroactions écrites sur des productions papier d'élèves, afin de pouvoir caractériser leur nature (*topic-specific feedback ; corrective feedback; generic feedback, simple feedback about something correct, simple feedback about something incorrect, complex feedback about something correct, complex feedback about something incorrect, feed-forward feedback, connective feedback, dialogical feedback, personal feedback, positive feedback, negative feedback, nondescript feedback, discours feedback*).

Ces distinctions sont intéressantes, mais posent le problème de leur caractère opérationnel lors de la conception. Par exemple, une rétroaction de type « *topic specific feedback* » pourrait bien être également une rétroaction de type « *corrective feedback* ». De plus, ces catégories sont souvent produites *a posteriori* et ne sont pas suffisamment formelles pour les rendre calculables, à partir des connaissances expertes, lors du choix de la rétroaction.

2.5. La modalité de la rétroaction

Enfin, la modalité de la rétroaction fait référence au registre auquel elle fait appel. Celui-ci peut être décrit du point de vue informatique au sens du type de sortie (son, image, écrit), mais peut aussi faire appel à la notion de registre de représentation sémiotique (Duval, 1993) telle qu'utilisée en didactique. Une rétroaction peut, par exemple, mobiliser le registre langue naturelle, le registre algébrique ou le registre figural. Les travaux proposant des taxonomies de rétroactions ne font pas référence à cette dimension.

2.6. Didactique des mathématiques et rétroactions

Les recherches dans le champ de la didactique des mathématiques s'intéressant à la question des rétroactions épistémiques fournies par un environnement informatique sont peu nombreuses.

D'une part, certains environnements informatiques fréquemment utilisés pour l'apprentissage des mathématiques n'incluent pas de rétroactions explicites. En particulier, dans les logiciels de géométrie dynamique, ce sont les règles de la géométrie euclidienne régissant la construction et le déplacement qui fournissent, *de facto*, des rétroactions, par exemple lors de la déformation d'une figure.

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

D'autre part, lorsque les environnements informatiques incluent des rétroactions épistémiques explicites, leur conception n'est pas toujours interrogée d'un point de vue didactique, comme le souligne Rezat qui reprend (Dawson *et al.*, 2018) : « *in most cases, there is no clear indication of how the feedback inputs (e.g., comments on the assessment performance) are designed to impact on subsequent assessment or how the impact is to be measured* » (2021, p.1434). Cette difficulté est aussi identifiée par McKendree : « *the psychological theories that discuss the issue have offered no concrete recommendations about the form or content of feedback in order to be maximally effective. [...] Further, the systems that have been implemented or suggested have offered little evidence that the techniques used actually help the learning process.* » (1990, p. 382).

En géométrie comme en algèbre, différents travaux montrent que la conception des rétroactions en lien avec le diagnostic du raisonnement mathématique mené par l'élève est complexe, y compris dans le cadre d'un travail mathématique relativement codifié, voire algorithmique (raisonnement déductif en géométrie, calcul sur les expressions algébriques ou résolution d'équations du premier ou du second degré). Ainsi, en géométrie, Tessier-Baillargeon, Leduc, Richard et Gagnon comparent onze « systèmes d'aide à la démonstration » (2017). Leur analyse porte notamment sur la composante tutorielle des systèmes et les rétroactions proposées aux élèves et pointe l'importance de l'analyse de l'activité de l'apprenant. Ils notent en particulier que l'aide « à la prochaine étape [...] qui implique que le système tutoriel puisse identifier la solution travaillée par l'élève pour le guider vers la prochaine action à poser » (Tessier-Baillargeon *et al.*, 2017, p.113) n'est pas majoritaire puisqu'elle concerne quatre des systèmes étudiés sur les onze. De plus, trois de ces quatre systèmes imposent une structure assez rigide au raisonnement de l'élève.

En algèbre, notamment dans le logiciel APLUSIX qui permet de travailler le calcul sur les expressions algébriques et la résolution d'équations, Bouhineau et Nicaud (2006) définissent trois types de rétroactions épistémiques implémentées dans l'environnement :

- des *rétroactions syntaxiques*, qui répondent à « est-ce que l'expression algébrique est syntaxiquement correcte et bien définie ? » ;
- des *rétroactions sémantiques*, qui répondent à « est-ce que le raisonnement poursuivi est sémantiquement correct ? » ;
- des *rétroactions stratégiques*, qui sont relatives à l'avancement de la résolution.

Cette dernière catégorie correspond à des jauges affichées qui se remplissent au fur et à mesure de l'avancée dans la résolution. Ce type de rétroactions, plus global, nécessite une structure assez rigide du raisonnement mobilisé pour la résolution des problèmes.

Au-delà de la conception des rétroactions se posent la question de l'appropriation de ces rétroactions par les élèves et celle de leurs éventuels effets sur les apprentissages mathématiques. À ce propos, Rezat souligne : « *while there is a large body of mainly quantitative research on the effectiveness of feedback in general, very little is known about how feedback actually affects students' individual content specific learning processes and conceptual development* » (2021, p. 1433).

Dans une étude récente, il étudie l'impact des rétroactions sur les conceptions d'élèves résolvant une tâche de probabilité proposée dans un manuel numérique de mathématiques. Le manuel propose plusieurs types de rétroactions décrites à partir de la classification de Shute (2008) présentée dans la section 2.4 : lorsque l'élève appuie sur le bouton permettant de valider sa réponse, il reçoit une rétroaction de vérification (*verification feedback*) et, si la réponse est erronée, la possibilité de recommencer deux fois (*try again feedback*). Si l'élève échoue après le deuxième essai, une ampoule apparaît sur le côté, celle-ci donne plusieurs indices (*elaborated feedback hints/cues/prompts*). Si l'élève échoue une troisième fois, la bonne réponse lui est donnée (*correct feedback*). Rezat montre alors que dans les deux cas étudiés, la rétroaction de vérification incite les élèves à repenser leurs réponses. Cependant, puisque cette rétroaction n'est accompagnée d'aucune information, les élèves se contentent d'ajuster leur réponse sans faire évoluer leur procédure ou stratégie de résolution. Après avoir reçu la rétroaction élaborée, les élèves sont en mesure de proposer la réponse correcte. Cependant, cette réponse correcte n'apparaît pas à la suite d'une procédure de résolution correcte et attendue à ce niveau scolaire. En effet, « *the analysis revealed that in both cases students instrumentalize information that is not relevant for the task* » (Rezat, 2021, p. 1442). On observe par exemple une élève s'appuyer sur les formulations des deux rétroactions de vérification qu'elle reçoit (« *No, this is not absolutely correct* » et « *No, not yet correct* ») pour déduire qu'il faut proposer une réponse proche de celle qui l'a menée à recevoir la rétroaction « *No, this is not absolutely correct* ».

Nous constatons des observations comparables dans les analyses de Cazes et Vandebrouck (2008) qui étudient cinq bases d'exercices en ligne en s'intéressant aux effets sur des apprenants de lycée et du supérieur. Les

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

bases d'exercices mettent en œuvre différents types de rétroactions : elles donnent ou non la bonne réponse, font référence ou non à la réponse erronée de l'élève, explicitent ou non la technique attendue, etc. On peut noter qu'aucune de ces bases n'exploite la réponse de l'élève pour le guider vers la réponse attendue. Cazes et Vandebrouck (2008) remarquent que les rétroactions ne sont souvent pas adaptées à l'activité de l'élève. Elles ne permettent à l'élève ni de comprendre son erreur, ni de proposer une meilleure solution. Soit la rétroaction ne reprend pas la procédure utilisée par l'élève pour lui expliquer pourquoi elle ne fonctionne pas, soit elle lui propose une procédure plus complexe (au moins en apparence) et l'élève ne parvient pas à s'en emparer. Cazes et Vandebrouck (2008) concluent en disant que lorsque la rétroaction est adaptée, si l'élève l'interprète correctement et s'il est dans une logique d'apprentissage (c'est-à-dire qu'il cherche « un peu plus que l'obtention du résultat »), alors la rétroaction peut jouer le rôle d'une aide constructive (p. 186) et permettre à l'élève de trouver le résultat de l'exercice, mais aussi de transférer une partie des connaissances en jeu à d'autres exercices.

Rezat résume ainsi la situation : « *no matter how carefully the tasks in e-textbooks and the feedback messages are designed, it is very likely that they still contain irrelevant information, which might become salient in students' solution processes. Therefore, tasks, feedback messages, and diagrams need to be designed very carefully and as unambiguously as possible* » (2021, p. 1443).

Si ces recherches permettent à nouveau de catégoriser les rétroactions, elles ne permettent pas de dire comment construire des rétroactions adaptées à l'activité de l'élève.

2.7. Modélisation formelle et calculable des rétroactions épistémiques

Nous avons ainsi l'objectif de proposer une formalisation permettant, d'une part, de pouvoir choisir automatiquement une rétroaction en tenant compte de ces différentes dimensions et, d'autre part, de pouvoir analyser de façon plus fine les rétroactions proposées par différents environnements informatiques d'apprentissage ainsi que leurs effets.

Tel qu'introduit précédemment, les connaissances didactiques semblent nécessaires pour concevoir des rétroactions épistémiques. Cependant, le choix de la rétroaction la plus pertinente pour un apprenant donné à un moment donné reste un verrou. De plus, l'évolution des systèmes prenant en compte tous ces éléments est difficile ou fastidieuse à mettre en place (Luengo, 2009).

Il semble donc nécessaire de concevoir un modèle capable de produire des rétroactions à partir des connaissances expertes, mais également capable d'évoluer, de façon informée, au fur et à mesure des interactions avec les apprenants, c'est-à-dire en utilisant les traces de ces interactions pour informer le modèle de décision et adapter l'importance de chaque rétroaction selon les contextes (c.-à-d. les situations d'apprentissage), les profils des élèves ou les modalités disponibles.

Une approche permettant de représenter le processus de décision de la rétroaction (Murray *et al.*, 2004) ainsi que le type de rétroaction, de façon explicite et découlée, peut permettre ces deux types d'évolution. Nous pouvons ainsi distinguer deux composantes : l'une relative à la modélisation de la rétroaction elle-même et l'autre au processus de décision permettant de choisir la ou les rétroactions les plus pertinentes. Pour cela il est nécessaire de caractériser de façon formelle les rétroactions et d'identifier par ailleurs les facteurs qui interviennent dans le choix de la rétroaction, en tenant compte de ces caractéristiques.

Plusieurs travaux se sont intéressés à la dimension décisionnelle. Mayo et Metrovic (2001) ont proposé une classification des rétroactions qui est relative à l'optimisation de la rétroaction - qu'ils qualifient de « *pedagogical action* » (2001, p.131). Selon ces auteurs, étant donné un modèle de l'apprenant représenté sous forme de réseaux bayésiens, le principe est de calculer l'action pédagogique optimale. Ils distinguent ainsi trois approches d'optimisation : alternative, diagnostic et théorie de la décision (*ibid.*).

Dans tous ces cas, les rétroactions elles-mêmes sont produites de façon *ad hoc*. Certains travaux produisent les rétroactions automatiquement après le processus de décision, mais cela particulièrement dans le cas des boucles externes. Nous pouvons ainsi citer l'approche développée par Luengo *et al.* (2011), qui proposent une procédure en quatre étapes : choix de la cible de la rétroaction (quelle connaissance ou erreur doit être ciblée suite au diagnostic), choix de l'intention de la rétroaction (déstabiliser, renforcer, diagnostiquer), choix de la modalité et enfin choix du contenu. Pour le contenu de la rétroaction, l'analyse et le calcul sont faits en fonction de la forme du support choisie (cours en ligne, simulateur ou base des cas cliniques).

Une autre approche, moins informée par les connaissances expertes, est celle de Clement *et al.* (2015) qui proposent des rétroactions de boucle longue de type « prochaine activité » en adaptant un algorithme d'apprentissage par renforcement bien connu appelé *Multi Armed Bandit*

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

(MAB). Les algorithmes de type MAB mettent en œuvre un processus de décision markovien à un seul état ; l'objectif est de chercher (*i.e.* explorer) l'action qui produit la meilleure récompense immédiate, puis de continuer à sélectionner (*i.e.* exploiter) cette dernière tant que c'est le cas. Les premières implémentations d'approches basées sur des MAB pour le choix de nouveaux exercices, proposées par Clement *et al.* (2015), ont démontré l'efficacité de ces approches pour la sélection de nouveaux scénarios, étant donné des degrés plus ou moins importants de connaissances expertes à disposition. Plus récemment, Frenoy *et al.* (2016) ont utilisé un MAB basé sur une approche probabiliste *softmax* pour la sélection d'actions pédagogiques lors de l'apprentissage de la calligraphie dans un environnement virtuel informé, c'est-à-dire un environnement disposant des informations sur la tâche de l'utilisateur et son contexte. Le point fort d'une approche par renforcement tient au fait de pouvoir combiner les connaissances expertes à des données collectées pendant l'interaction entre l'apprenant et le système.

2.8. Problématique

Cet état de l'art permet de pointer trois éléments essentiels :

- la diversité des classifications des rétroactions et le côté peu opérant de ces classifications pour produire et décider des rétroactions adaptées à l'activité de l'apprenant ;
- les limites des connaissances issues des travaux de didactique permettant de répondre à la question « quelle est la rétroaction la plus pertinente ? » ;
- la diversité des approches informatiques relatives à la décision des rétroactions.

Suite à ces constats, nous faisons les hypothèses suivantes :

- il est possible de proposer un modèle formalisé de description des rétroactions ;
- ce modèle peut permettre d'intégrer les connaissances de la didactique sur les savoirs en jeu ;
- ce modèle est une base permettant d'aborder la décision des rétroactions épistémiques en boucle interne à l'aide d'algorithmes d'apprentissage par renforcement.

Une première étape, qui est l'objet principal du travail présenté, est de formaliser suffisamment les rétroactions à partir des connaissances expertes, tout en s'assurant que l'on puisse exploiter cette formalisation, notamment pour rendre calculable le choix de la rétroaction.

3. Modèle de rétroactions

Nous présentons maintenant le modèle de rétroactions. Celui-ci permet de caractériser didactiquement une rétroaction dans la mesure où il permet d'explicitier à son propos :

- les éléments du savoir présents,
- les précisions apportées sur ces éléments de savoir,
- la présence de contenus relatifs à une erreur liée au savoir,
- sa ou ses fonctions possibles,
- sa relation avec la tâche donnée dans l'environnement.

La description des éléments de savoir mobilisés dans les rétroactions, des précisions apportées dessus et des classes d'erreurs usuelles nécessite de disposer d'une modélisation du savoir. Nous exploitons l'approche praxéologique telle que définie dans la théorie anthropologique du didactique, ou TAD (Chevallard, 1992), et son extension T4-TEL (Chaachoua *et al.*, 2019). Nous présentons dans la sous-section suivante les éléments de ces modèles nécessaires à la compréhension de la suite de l'article. Pour une approche plus globale, le lecteur trouvera des utilisations détaillées de ces cadres théoriques, pour des travaux en EIAH (Mandin et Guin, 2014 ; Vu et Tchounikine, 2020 ; Jolivet *et al.*, 2021a).

3.1. Modélisation du savoir

L'approche praxéologique consiste à représenter toute activité humaine à l'aide d'un quadruplet [Type de tâches, Technique, Technologie, Théorie]. Pour préciser et illustrer les éléments de ce quadruplet, nous nous plaçons dans le domaine des mathématiques.

- *Type de tâches* : les tâches à réaliser sont regroupées dans des ensembles de tâches, un ensemble contenant des tâches pouvant toutes être résolues d'au moins une manière commune. Un tel ensemble est appelé *type de tâches*. Les types de tâches sont définis à partir d'un verbe d'action (par exemple « résoudre ») et d'un objet mathématique sur lequel s'exerce l'action (par exemple « une équation du premier degré »).

- *Technique* (renommée *procédure* dans la suite du texte) : il s'agit d'un moyen existant pour réaliser les tâches d'un type de tâches ; par exemple, pour résoudre certaines équations du 1^{er} degré : « transformer l'équation en une équation équivalente avec l'inconnue dans un seul membre, transformer l'équation en une équation équivalente avec les termes constants dans l'autre membre, calculer la valeur de l'inconnue ».

- *Technologie et théorie* (renommées *justification* dans la suite du texte) : il s'agit des propriétés, définitions, etc., qui permettent de justifier la validité mathématique des techniques ; par exemple, « une égalité est préservée

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

quand on réalise la même opération dans les deux membres », « le produit d'un nombre et de son inverse est égal à un ».

Pour prendre en compte les erreurs, nous nous appuyons sur des classes d'erreurs susceptibles de se manifester lors de la résolution des tâches. Elles sont identifiées à partir de travaux issus de la didactique et sont reconnues par la mobilisation par l'apprenant d'une ou de plusieurs technologies erronées, qui va s'exprimer par la mise en œuvre d'une procédure erronée.

Afin de limiter les confusions, ou difficultés de lecture, liées à la dimension fortement polysémique dans ce contexte interdisciplinaire du vocabulaire utilisé dans la TAD, nous utilisons dans la suite de ce texte le terme *procédure* en remplacement du terme *technique* (c'est-à-dire tout élément permettant de réaliser un ensemble de tâches) et le terme *justification* en remplacement des termes *technologie* et *théorie* (c'est-à-dire les éléments du savoir qui permettent de justifier la validité d'une procédure). Ainsi, pour une tâche donnée, il existe une ou plusieurs procédures qui permettent de réaliser cette tâche. Les justifications permettent de garantir la validité des procédures et de guider leur mise en œuvre.

3.2. Le modèle de rétroaction

Notre modèle de rétroaction est synthétisé dans le diagramme présenté dans la figure 1. Nous détaillons dans la suite de cette section chacune de ses composantes et explicitons les relations qui les organisent. Nous l'illustrons par quelques exemples qui sont enrichis au fil de l'introduction des différentes composantes.

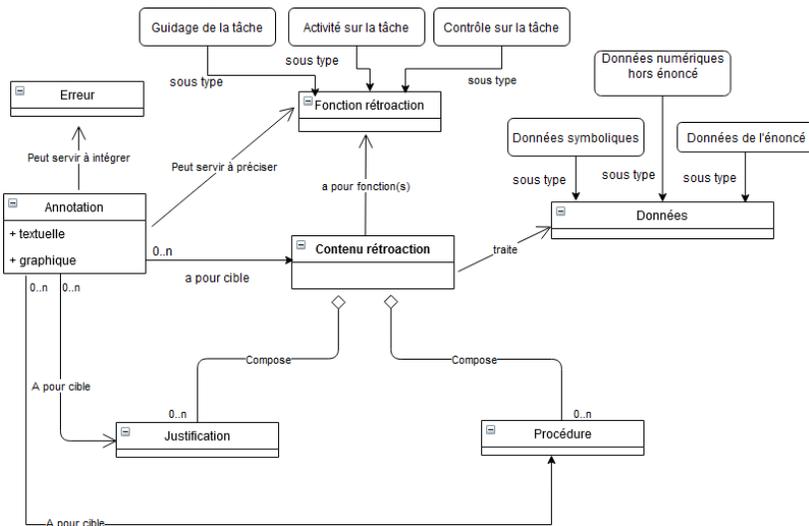


Figure 1 • Diagramme du modèle de rétroaction

3.2.1. Composante « Contenu rétroaction »

La composante « Contenu rétroaction » est au cœur de la représentation de la rétroaction, elle est nécessaire à son existence. Elle peut être composée d'une ou plusieurs procédures de résolution et/ou d'une ou plusieurs justifications.

Exemples: pour la tâche « résoudre l'équation $2y+1=5y-5$ » on peut envisager, par exemple, les contenus proposés dans le tableau 1.

Tableau 1 • Exemples de contenus d'une rétroaction

Exemples de procédures	Exemples de justifications
<p><i>Procédure 1</i> $2y+1 = 5y - 5$ $2y+1-2y = 5y - 5 -2y$ $1+5 = 3y - 5 + 5$ $6 = 3y$ $y = 2$</p>	<p><i>Justification 1</i> On obtient une équation équivalente à l'équation initiale en réalisant la même opération dans les deux membres de l'équation</p>
<p><i>Procédure 2</i> 2 est une racine évidente de l'équation. Or une équation du 1^{er} degré admet zéro, une ou une infinité de solutions. Donc 2 est la solution de l'équation.</p>	<p><i>Justification 2</i> On appelle solution d'une équation toute valeur qui, substituée à l'inconnue, rend l'égalité vraie.</p>

Remarque: nous proposons ici des contenus possibles, nous ne discutons ni de leur pertinence mathématique, ni de leur formulation, ni de leur mise en forme, ni de leur adaptation à tel ou tel élève.

3.2.2. Composante « Annotation »

La composante « Annotation » correspond à des éléments facultatifs qui viennent enrichir la rétroaction. Une annotation peut concerner (relation *a pour cible* dans la figure 1) le niveau global de la rétroaction ou porter spécifiquement sur un des éléments de contenu. Une annotation peut être textuelle ou graphique et avoir plusieurs finalités : détailler un aspect du contenu de la rétroaction, intégrer des éléments relatifs à une erreur, expliciter une fonction de la rétroaction. Nous illustrons la première finalité dans les exemples qui suivent et revenons sur les deux autres après avoir défini les composantes *erreur* et *fonction de la rétroaction*.

Exemples: pour les contenus proposés dans le tableau 1 on peut envisager, par exemple, les annotations proposées dans le tableau 2.

Tableau 2 • Exemples d’annotations pour une rétroaction

Exemple d’annotation avec pour cible le niveau global	Exemple d’annotation avec pour cible la procédure 1 du tableau 1
« Nous te proposons un exemple de résolution d’une équation dont tu peux t’inspirer » <i>qui annote la rétroaction de contenu la procédure 1 ou 2 du tableau 1.</i>	$2y+1 = 5y - 5$ $2y+1-2y = 5y - 5 -2y$ (l’objectif de cette étape est d’obtenir une équation équivalente à l’équation initiale contenant l’inconnue dans un seul membre) $1+5 = 3y - 5 + 5$ (l’objectif de cette étape est d’obtenir une équation équivalente tous les termes constants étant dans l’autre membre) $6 = 3y$ $y = 2$

Dans la section 3.2.6 nous proposons une typologie d’annotations selon leur cible.

3.2.3. Composante « Erreur »

La composante « Erreur » décrit un contenu facultatif qui est porté par le moyen d’une annotation. L’étude didactique réalisée sur le savoir (procédures et justifications) peut permettre d’identifier des erreurs « classiques ». Il est alors possible d’intégrer à une rétroaction, par le moyen d’une annotation, des éléments relatifs à une erreur. Ceci peut se faire de deux manières : d’une part, en présentant une erreur effectivement réalisée (mise en œuvre d’une procédure erronée, formulation d’une justification erronée) et en la mettant en regard de l’élément valide ; d’autre part, en pointant explicitement une étape d’une procédure ou un élément d’une justification comme étant l’origine ou un lieu de manifestation fréquent d’erreur.

Exemples

La rétroaction définie par le contenu « dans un triangle ABC rectangle en A, $BC^2 = AB^2 + AC^2$ (théorème de Pythagore) » peut être augmentée :

- de l’annotation « Attention, avant d’utiliser le théorème de Pythagore, il faut bien vérifier que ton triangle est rectangle » qui fait référence à l’erreur classique qui est d’utiliser ce théorème hors de son domaine de validité ;

- de l’annotation « Il est fréquent, lorsque la longueur cherchée n’est pas celle de l’hypoténuse, de se tromper en ne faisant pas la soustraction » qui fait référence à la non identification du fait que, dans l’énoncé du théorème, c’est la longueur de l’hypoténuse qui est seule dans un des membres de l’égalité.

3.2.4. Composante « Fonction de la rétroaction »

La composante « Fonction de la rétroaction » est un attribut que l'on peut associer à une rétroaction. Galpérine identifie trois types d'opérations pour une action : orientation, exécution, contrôle (1966). En nous inspirant de ce résultat, nous proposons trois fonctions possibles pour une rétroaction.

- *Fonction de guidage* : il s'agit d'une rétroaction destinée à un apprenant qui ne s'est pas encore engagé dans l'activité de résolution de la tâche (peu importe la raison). La rétroaction vise à lui fournir un moyen de débiter son activité. Ce moyen peut être le rappel d'une justification (définition ou propriété) ou la présentation d'une (partie d'une) procédure permettant l'entrée dans l'activité de résolution de la tâche. Dans ce cas, il serait plus juste de parler de rétro-inaction que de rétroaction, on retrouve l'idée de *feed-forward* proposée dans la taxonomie de Murray *et al.* (2018, p. 86).

- *Fonction d'aide à la reprise de la tâche* : il s'agit d'une rétroaction destinée à un apprenant qui a réalisé, au moins partiellement, la tâche. Il peut avoir terminé la tâche, avec une ou plusieurs erreurs, ou ne pas être arrivé à finaliser son travail. Dans ce cas, la rétroaction porte directement sur la tâche, et contient donc une ou des justifications et/ou une ou des procédures mobilisées dans la réalisation de la tâche. Elle peut être augmentée par l'intégration d'éléments relatifs à une erreur.

- *Fonction de contrôle* : il s'agit d'une rétroaction destinée à un apprenant qui a finalisé la tâche avec au moins une erreur, sans toutefois lui fournir une rétroaction d'aide à la reprise de la tâche. On va l'amener à contrôler, de manière autonome, la validité de son résultat, par exemple en lui donnant une tâche supplémentaire.

Exemples

- Dans la rétroaction « Pour commencer n'hésite pas à réaliser un schéma à partir des données de l'énoncé », le contenu « réaliser un schéma à partir des données de l'énoncé » est une procédure relative à la résolution de certains problèmes. L'annotation « Pour commencer n'hésite pas à » attribue la *fonction de guidage* à la rétroaction.

- Dans la rétroaction « Voici un exemple détaillé qui devrait t'aider à corriger ta production [procédure 1 du tableau 1] », l'annotation « Voici un exemple détaillé qui devrait t'aider à corriger ta production » attribue la *fonction d'aide à la reprise de la tâche* à la rétroaction. La procédure 1 est un modèle de solution proposé à l'élève comme moyen de retravailler sa tâche qui est proche de la tâche utilisée pour écrire la rétroaction.

- Dans la rétroaction « Nous te rappelons que [justification 2 du tableau 1]. Ta réponse est-elle bien une solution de l'équation? », les

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

annotations « Nous te rappelons que » et « Ta réponse est-elle bien une solution de l'équation ? » attribuent la *fonction contrôle* à la rétroaction.

Remarque : un même contenu de rétroaction peut être pertinent pour plusieurs fonctions. Par exemple une rétroaction composée simplement de la justification « on appelle solution d'une équation (...) » peut avoir une fonction de guidage pour un élève qui ne commence pas la résolution d'une équation, mais peut aussi avoir la fonction de contrôle pour permettre à un élève qui a finalisé sa résolution de vérifier lui-même sa réponse. Ainsi une rétroaction peut avoir une ou plusieurs *fonctions potentielles*. Une annotation permet éventuellement d'en spécifier une.

3.2.5. Composante « Données »

La dernière composante de notre modèle permettant de décrire une rétroaction caractérise le type de données utilisées pour la formulation de la rétroaction et leur rapport avec les données de la tâche à résoudre.

Nous distinguons tout d'abord deux cas :

- soit la rétroaction utilise les données de l'énoncé (valeurs des coefficients d'une équation, nom des points de la figure, longueurs des segments...), on parle d'une *rétroaction instanciée à la tâche*;

- soit la rétroaction n'utilise pas les données de l'énoncé, on distingue alors à nouveau deux cas :

- la rétroaction est rédigée en utilisant des données numériques qui ne sont pas celles de l'énoncé, on parle alors d'une *rétroaction instanciée à une tâche*;
- elle est rédigée en utilisant des données symboliques (lettres pour les coefficients d'une expression algébrique, lettres pour désigner des longueurs en géométrie...), on parle alors de *rétroaction générique*.

Dans le tableau 3, nous proposons des exemples de rétroactions des trois types pour la tâche « Développer $(y+3)(4y-5)$ ».

Tableau 3 • Exemples de variations de rétroactions selon la composante « données »

Rétroaction instanciée à la tâche	Rétroaction instanciée à une tâche	Rétroaction générique
Voici la première étape de la résolution, à toi de continuer : $(y+3)(4y-5) = yx4y-5xy+3x4y-3x5$	Voici un exemple dont tu peux t'inspirer : $(z-4)(2z+5) = zx2z+zx5-4x2z-4x5 = 2z^2-3z-20$	Nous te rappelons la propriété de distributivité suivante : $(a+b)(c+d) = ac+ad+bc+bd$

3.2.6. Typologie pour la composante « Annotation »

Comme nous l'avons illustré dans les exemples proposés ci-dessus, les annotations peuvent avoir différentes cibles. Sans viser à l'exhaustivité, nous indiquons trois cibles et, pour chacune de ces cibles, nous proposons dans le tableau 4 une typologie des annotations selon leur objectif. Les différentes colonnes indiquent la cible de l'annotation (niveau global, procédure ou justification) puis chaque ligne correspond aux différentes finalités possibles des annotations selon la cible.

Tableau 4 • Typologie d'annotations selon la cible de la rétroaction

Exemples d'objectifs pour une annotation qui a pour cible...		
... le niveau global de la rétroaction	... une procédure de la rétroaction	... une justification de la rétroaction
Expliciter le contenu de la rétroaction (p. ex. : voici un rappel de cours, voici un exemple résolu...)	Mettre en relation la procédure et la justification associée	Expliciter le domaine de validité de la justification (« je ne peux utiliser cette justification que si... »)
Expliciter la fonction de la rétroaction : - Guidage - Aide à la reprise de la tâche - Contrôle	Identifier les changements de types de tâches (la procédure est considérée comme un ensemble de types de tâches), ce qui vise mettre en évidence les grandes étapes de la procédure.	Expliciter la finalité de la justification (« je peux utiliser cette justification pour... »)
	Expliciter la mise en œuvre d'une étape particulière de la procédure, ce qui vise à préciser un type de tâches ingrédient de la procédure	Proposer une autre formulation de la justification (p. ex., exprimer la justification dans un autre registre)
	Présenter une mise en œuvre erronée de la procédure avec identification de l'erreur (en relation avec la mise en œuvre correcte)	Présenter une justification erronée en lien avec la justification valide
	Signaler explicitement une étape de la procédure comme lieu fréquent d'erreur	

3.3. Premières conclusions sur le modèle de description des rétroactions épistémiques

Dans la section 3.2, nous avons proposé un modèle permettant de décrire des rétroactions épistémiques (voir sections 2.2 et 2.6) dans la mesure où il permet de décrire :

- les éléments du savoir présents dans la rétroaction ;
- leur nature en termes de procédure et de justification ;
- les informations complémentaires présentes sur les procédures et les justifications ;
- la prise en compte des erreurs (dont l'importance a été rappelée dans les sections 2.1 et 2.6) ;
- l'utilisation ou non des données de l'énoncé dans la rétroaction.

Il permet aussi de caractériser la rétroaction par une ou des fonctions, explicitées ou potentielles.

Nous avons donc présenté un modèle formalisé de description de rétroactions épistémiques qui permet d'intégrer les connaissances de la didactique sur les savoirs en jeu. Conformément aux objectifs fixés à la fin de la section 2.8, nous présentons dans la section suivante comment ce modèle permet d'aborder la question de la décision des rétroactions épistémiques. Une première validation du modèle de description sera l'objet de la section 5.

4. Décision des rétroactions

4.1. Problématique de la décision

Le modèle de rétroaction que nous avons présenté permet de décrire les rétroactions, ce qui est une étape importante pour permettre la décision de ces rétroactions. Comme nous le verrons dans la suite de cette section, il permet d'orienter l'expert dans l'élicitation des connaissances nécessaires pour le système de décision et permet également d'orienter le choix de la décision.

La décision des rétroactions dépend de multiples variables latentes sur l'apprenant et son activité qui ne sont pas observables directement (Lan *et al.*, 2017 ; Murray *et al.*, 2004), ce qui rend difficile, même pour des experts du domaine, la décision de la rétroaction la plus adaptée à un élève résolvant une tâche et la prévision des conséquences possibles de cette rétroaction en termes de gain d'apprentissage pour l'élève. *A fortiori*, cette difficulté est accentuée dans le contexte des plateformes d'entraînement en ligne où le système dispose d'informations partielles, voire même

bruitées sur l'état de l'apprenant A, sur sa résolution R et sur les caractéristiques didactiques de la tâche T en cours. Dans la suite, nous désignons ces informations par le triplet $\langle A|R|T \rangle$.

Dans le cadre de cette recherche, nous tentons de répondre aux questions suivantes :

- Peut-on faire appel à des algorithmes d'apprentissage automatique (AA) pour aider à réduire l'incertitude de la décision des rétroactions ?
- Est-il possible d'entraîner un modèle d'AA sur des données éducatives pour décider des rétroactions adaptées aux élèves ?
- Quel type de modèles d'AA est le mieux adapté pour la décision des rétroactions ?

L'approche que nous proposons combine l'AA et l'expertise de didacticiens pour décider des rétroactions adaptées. Cette notion d'adaptation dépend des objectifs attachés aux rétroactions. Doivent-elles permettre la progression de l'apprenant dans le domaine enseigné ou « juste » sa réussite dans la tâche ? L'approche proposée doit être suffisamment flexible pour permettre la réalisation d'objectifs différents.

4.2. Modélisation et caractéristiques du problème de décision des rétroactions

Les algorithmes d'AA ont été abondamment utilisés dans le domaine des EIAH (en particulier dans les communautés AIED et EDM) pour la modélisation de l'apprenant, la prédiction de son comportement, l'adaptation des parcours d'apprentissage, les tests adaptatifs, etc. Il existe trois types d'algorithmes d'apprentissage automatique : l'apprentissage non supervisé, l'apprentissage supervisé et l'apprentissage par renforcement (*Reinforcement Learning* ou RL) (Sutton et Barto, 2018). C'est ce dernier type d'algorithmes que nous avons choisi d'utiliser. Ce choix est motivé par les caractéristiques du problème de décision des rétroactions. En effet, nous le modélisons comme un problème de décision dans l'incertain puisqu'il existe une incertitude d'une part sur le type et le contenu de la rétroaction la plus adaptée et d'autre part sur les conséquences de la rétroaction décidée par le système sur l'apprenant. Ainsi, les caractéristiques intrinsèques des modèles par renforcement correspondent bien aux caractéristiques d'un problème de décision des rétroactions. Nous résumons ces caractéristiques comme suit.

- L'absence de superviseur : contrairement aux modèles d'AA supervisé, ici le modèle n'apprend pas sur des exemples annotés par un superviseur humain puisque les experts semblent en difficulté dans le choix de la rétroaction la mieux adaptée pour le triplet $\langle A|R|T \rangle$. Le système

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

dispose juste d'un signal de récompense qui, généralement, dépend de la conséquence de la rétroaction décidée par le système sur l'apprenant.

- La récompense du système peut être retardée : la rétroaction décidée par le système ne doit pas donner nécessairement lieu à une récompense immédiate puisque l'effet d'une rétroaction ne peut être évalué positivement simplement du fait que l'apprenant a réussi la tâche en cours, des effets sur les apprentissages à moyen et long terme peuvent être privilégiés.

- La rétroaction décidée par le système à l'instant t impacte les données qu'il reçoit du triplet $\langle A|R|T \rangle$ à l'instant $t+1$. En effet, la rétroaction décidée par le système peut influencer l'apprenant A et sa résolution R . Ceci est une caractéristique intrinsèque des modèles RL en comparaison avec les deux autres types de modèles d'AA.

4.3. Apprentissage par renforcement : apprendre une politique de rétroaction adaptative

Plusieurs travaux (He-Yueya *et al.*, 2021 ; Efremov *et al.*, 2020 ; Bassen *et al.*, 2020 ; Chi *et al.*, 2011 ; Doroudi *et al.*, 2019 ; Rowe et Lester, 2015) ont montré l'intérêt de l'apprentissage par renforcement (RL) pour l'élaboration de politiques pédagogiques. Ils montrent que les modèles RL peuvent apprendre des relations complexes et souvent latentes entre les tâches pédagogiques, les actions des apprenants et leurs acquis en termes de connaissances.

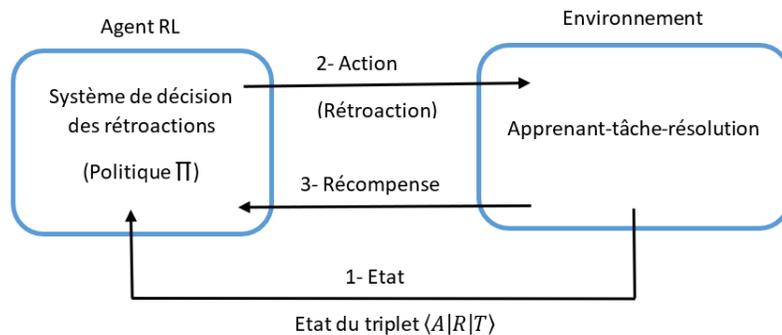
De manière générale, un agent logiciel RL apprend à optimiser des décisions dans l'incertain. Il apprend une politique de sélection d'actions dans un environnement incertain, guidé par des récompenses différées, afin d'atteindre un objectif (Sutton et Barto, 2018). L'agent RL utilise un signal de récompense basé sur l'environnement afin d'apprendre une politique, notée Π , qui associe les états observés aux actions et maximise l'espérance de la récompense totale accumulée. Les agents, dans les problèmes d'apprentissage par renforcement, sont généralement modélisés avec des processus de décision markoviens.

Les éléments clés d'un algorithme d'apprentissage par renforcement (voir figure 2) sont les constituants du triplet (*état, récompense, action*). Dans le cas de la décision de rétroactions :

- L'*état* que reçoit l'agent RL est un ensemble d'informations du triplet $\langle A|R|T \rangle$ (c'est-à-dire les connaissances de l'apprenant A sur le(s) sujet(s) de la tâche T et l'état de sa résolution R qui comprend, entre autres, ses erreurs) ;

- la *récompense* se rapporte aux objectifs de la stratégie (par exemple la réussite dans la tâche en cours ou l'amélioration de l'état des connaissances des apprenants);

- l'*action* fait référence à la décision du système en termes de rétroactions épistémiques (par exemple, présenter une rétroaction à l'élève pour l'aider à réussir la tâche en cours, comprendre son erreur, lui rappeler des éléments du cours, etc.), décision qui, sur la base des informations de l'état $\langle A|R|T \rangle$, vise à maximiser l'espérance mathématique de la récompense attendue.



(Niveau de l'apprenant, caractéristiques de la tâche, nombre de tentatives, erreur, etc.)

Figure 2 • Fonctionnement du modèle RL dans le cas de la décision des rétroactions

4.4. Interventions des experts humains dans le processus de décision des rétroactions

Les experts humains interviennent dans deux étapes de la décision des rétroactions : d'une part, pour atténuer le problème du démarrage à froid de l'algorithme de décision et, d'autre part, pour la définition de la fonction de récompense.

En éducation, l'absence de données massives antérieures disponibles et pertinentes pose le problème du démarrage à froid de l'algorithme de décision des rétroactions. Ce problème peut être critique puisque, avant que l'agent RL ait suffisamment appris une bonne politique de décision, il peut recommander des rétroactions qui ne sont pas pertinentes pour le contexte des apprenants. Ces derniers peuvent ainsi passer plus de temps dans l'environnement avant d'atteindre les objectifs ou être désorientés par les décisions de l'agent.

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

Pour répondre à cette problématique, dans le cadre de notre recherche, des experts ont construit un arbre de décision où les nœuds de chaque branche de l'arbre sont des variables observables du triplet $\langle A|R|T \rangle$ intervenant dans la décision des rétroactions et où la feuille d'une branche est un ensemble de rétroactions. Cet ensemble contient les rétroactions considérées comme pertinentes didactiquement par les experts sans qu'ils aient pour autant une certitude quelconque sur leur efficacité pour un triplet observé $\langle A|R|T \rangle$. Il évite au moins la recommandation de rétroactions aberrantes. Ainsi, cet arbre de décision articule différentes composantes du modèle (procédure, justification, erreur, etc.) avec la connaissance de l'apprenant.

Le modèle formel de rétroactions permet aux experts de définir la fonction de récompense de l'algorithme RL. En effet, grâce aux différentes composantes du modèle de rétroaction (contenu, annotation, etc.), il est possible d'affecter une récompense immédiate plus ou moins importante à la rétroaction. Ainsi, les composantes du modèle vont permettre de guider plus finement la décision par rapport à une fonction de récompense qui considérerait la rétroaction dans sa globalité.

Ces deux interventions sont présentées plus en détail dans la section 2 consacrée à la présentation d'un cas d'étude.

5. Validations et applications

Dans cette section nous présentons deux évaluations des modèles : tout d'abord une première évaluation qualitative de la capacité du modèle de rétroactions, présenté dans la section 3, à les décrire ; puis nous présentons une preuve de concept en explicitant l'utilisation du modèle et la mise en œuvre du processus de décision dans le cadre de l'environnement numérique d'apprentissage *Mindmath*.

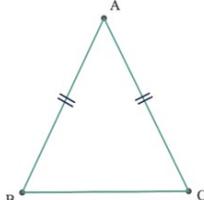
5.1. Validation qualitative du modèle de description

Pour exploiter l'aspect calculable du modèle de description des rétroactions, il faut tout d'abord s'assurer qu'il permet effectivement de les décrire et que cette description est identique lorsqu'elle est réalisée par plusieurs annotateurs. Nous nous sommes donc tout d'abord placés dans le cas où les rétroactions sont existantes. Pour pouvoir évaluer la portée du modèle, nous avons travaillé avec des rétroactions provenant de deux environnements numériques d'apprentissage : la plateforme *Carnegie Learning* et la plateforme *Mindmath*. Quelques exemples de ces rétroactions sont proposés en figures 3 et 4.

EXEMPLES DE FACTORISATIONS	
Énoncés	Résolutions
Factoriser $4y - 4z$	$4y - 4z = 4(y - z)$ ← Ici, 4 est un facteur commun aux deux termes de la différence. ↑ ↑ facteur commun
Factoriser $4 + 4y$	$4 + 4y = 4 \times 1 + 4 \times y$ ← On écrit $4 = 4 \times 1$ pour bien faire apparaître les facteurs du premier terme. $4 + 4y = 4(1 + y)$
Factoriser $12 - 4y$	$12 - 4y = 4 \times 3 - 4 \times y$ ← On fait apparaître le facteur 4 qui est commun aux deux termes de la différence. $12 - 4y = 4(3 - y)$
Factoriser $y^2 + 12y$	$y^2 + 12y = y \times y + 12 \times y$ ← On écrit $y^2 = y \times y$ pour bien faire apparaître les facteurs du premier terme. $y^2 + 12y = (y + 12)y = y(y + 12)$

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES D'UN TRIANGLE ISOCÈLE

Un triangle est **isocèle** si et seulement si il possède **deux côtés de même longueur**.



$AB = AC$

Le triangle ABC est isocèle en A .

Le point A est le **sommet** du triangle isocèle.

Le segment $[BC]$ est sa **base**.

Si un triangle est isocèle, alors **les angles à la base ont même mesure**.

Réciproquement : si un triangle a deux angles de même mesure, alors il est isocèle.

$\widehat{ABC} = \widehat{BCA}$

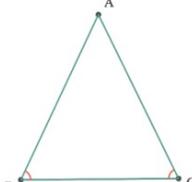


Figure 3 • Exemples de rétroactions issues de Mindmath

Hint

What can you do both sides of the equation to isolate any variable terms?



Hint 1 of 3

Next

Hint

To isolate the variable terms, you should eliminate the constant value, 2, on the left side. What can you do to both sides of the equation to eliminate the 2 (make it zero)?



Hint 2 of 3

Previous
Next

Figure 4 • Exemples de rétroactions issues de la plateforme Carnegie Learning

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

5.1.1. Évaluation qualitative du modèle

L'évaluation qualitative a eu lieu en deux temps.

Premier temps: lors de la 21^e école d'été de didactique des mathématiques, à l'occasion d'une séance de travail réunissant cinq chercheurs confirmés et les auteurs de l'article, nous avons évalué la compréhension du modèle, la lisibilité des formulations et la complétude du modèle. Ces cinq chercheurs ne sont impliqués ni dans la conception du modèle ni dans le projet *Mindmath*. Ils disposent en revanche d'une expertise sur les cadres didactiques mobilisés dans le modèle. Dans cette évaluation nous avons brièvement présenté à l'oral le modèle, puis nous leur avons demandé de l'exploiter pour décrire un ensemble de rétroactions. Ils disposaient pour cela d'un tableau (constitué de trois zones permettant de décrire le contenu, les annotations et les informations associées, et les données) et d'une version antérieure de la figure 1.

Deuxième temps : les auteurs de l'article ont procédé, en parallèle et sans interactions entre eux, à l'annotation de cinq rétroactions (trois issues de *Carnegie* et deux issues de *Mindmath*) à partir d'un guide de description donné préalablement. Ce guide était constitué d'une version antérieure de la figure 1 et d'une procédure à suivre pour chaque rétroaction :

- 1) décrire le contenu principal,
- 2) identifier la présence d'éléments relevant de la composante annotations,
- 3) préciser la fonction,
- 4) caractériser le type de données.

Même si tous les auteurs n'ont pas le même niveau de familiarité avec le modèle et/ou avec la didactique, choisir les auteurs comme annotateurs permet de limiter les effets liés à des difficultés d'appropriation du modèle.

Les enseignements suivants peuvent être tirés de ces deux évaluations.

- La première évaluation nous a amenés à repréciser la description de certaines composantes du modèle et à affiner des choix de vocabulaire, en particulier en ce qui concerne les fonctions des rétroactions.

- Le modèle semble permettre d'identifier tous les éléments présents dans une rétroaction (aucun expert n'a souhaité ajouter une composante supplémentaire), mais ne permet pas de décrire certaines caractéristiques de ces éléments. Ceci provient du fait que pour passer de la modélisation de la rétroaction à sa réification des choix ont été réalisés. Ainsi, les registres sémiotiques dans lesquels sont représentés certains éléments de la rétroaction, des choix typographiques pour mettre en évidence certains morceaux de texte, la tournure des phrases (forme interrogative ou

affirmative) sont apparus comme des éléments de la rétroaction ne pouvant être décrits avec le modèle.

- Comme on peut le constater sur les figures 3 et 4, les rétroactions proposées dans *Mindmath* sont beaucoup plus composites que celles proposées dans *Carnegie Learning*. Conformément à l'intuition, il y a plus de divergences interannotateurs pour les rétroactions avec beaucoup de contenus. Si les composantes *contenu* et *données* ne provoquent globalement pas de divergences, les annotations présentent plus de difficultés. Celles-ci proviennent essentiellement du niveau de granularité de ce qui est considéré comme une seule annotation. Ainsi, si on considère la rétroaction relative aux propriétés générales d'un triangle isocèle (issue de *Mindmath*) proposée en figure 3, l'ensemble des annotateurs identifient deux contenus : chacune des phrases en rouge est considérée comme un contenu de type *justification*. En revanche, pour la composante annotation, il est proposé soit de considérer les deux ensembles « figure + formule » comme deux annotations, soit de considérer quatre annotations distinctes (chaque figure et chaque formule). Ces écarts sur le niveau de granularité de ce qui est considéré comme annotation impliquent des réponses différentes sur la fonction de l'annotation. Cependant, quand les annotations considérées sont les mêmes, il y a accord sur les fonctions.

- Un dernier élément identifié lors de ce premier travail d'évaluation est la prise en compte inégale, par les annotateurs, de deux éléments : le titre de la rétroaction (quand il existe) est soit considéré comme une annotation au niveau global de la rétroaction, soit ignoré ; la formulation de la rétroaction (forme affirmative ou interrogative) est parfois considérée comme une annotation qui confère une fonction particulière à la rétroaction (fonction de guidage dans le cas de la forme interrogative par exemple). Cette observation fait écho à l'observation réalisée avec les cinq chercheur.e.s didacticien.ne.s.

5.1.2. Perspectives ouvertes par cette validation qualitative, autres critères de validation

Cette première validation qualitative nous amène à identifier différentes pistes pour poursuivre ce travail d'évaluation de la capacité du modèle à décrire des rétroactions de manière non dépendante de l'annotateur, en particulier, les trois pistes qui suivent.

- Évaluer certaines composantes de manière indépendante, par exemple, en proposant des rétroactions dont les composantes « contenu » et « annotation » sont déjà explicitées, et en demandant à l'annotateur de proposer une ou plusieurs fonctions, en indiquant les raisons de son choix. Ceci pourrait permettre d'améliorer la typologie des annotations proposée

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

dans le tableau 4 et d'étudier comment déduire de manière automatique, au moins partiellement, la fonction d'une rétroaction à partir des autres composantes.

- Envisager un ou des moyens pour permettre la description des éléments qui ont manqué lors des deux évaluations.

- Reprendre le travail d'annotation de rétroactions par différents annotateurs en augmentant le nombre de rétroactions annotées afin d'évaluer, composante par composante et d'une manière globale, la fiabilité des descriptions obtenues. Ce travail pourrait être mené en ajoutant des rétroactions issues d'autres plateformes d'apprentissage des mathématiques, afin d'évaluer aussi la portée du modèle.

En complément de cette première validation qualitative, un autre critère de validation du modèle est développé dans les sections suivantes : une validation de la qualité des informations didactiques obtenues sur la rétroaction par l'utilisation qui en est faite, dans le cadre du projet *Mindmath*, en exploitant ces informations pour décider les rétroactions et calculer diverses informations nécessaires à la mise en œuvre d'un algorithme de *machine learning* (sections 5.2.2 et 5.2.3).

Ces premières expérimentations nous ont permis, d'une part, de réaliser un premier travail de reprise de certaines définitions ou du vocabulaire. D'autre part, elles nous incitent à construire un guide à destination de potentiels utilisateurs voulant décrire des rétroactions avec le modèle, en proposant des stratégies d'utilisation du modèle et des points d'attention (présence d'une forme interrogative dans la formulation de la rétroaction ; présence d'un titre ; etc.). La réalisation effective de ces éléments et leur expérimentation à une plus large échelle sont en cours et feront l'objet d'une publication ultérieure.

5.2. Preuve de concept : le cas *Mindmath*

En complément de cette première validation qualitative, le projet *MindMath* nous a permis de réifier la proposition dans un environnement informatique. Il nous a permis également une validation de la qualité des informations didactiques obtenues sur la rétroaction par l'utilisation qui en est faite en exploitant ces informations pour décider les rétroactions et calculer diverses informations nécessaires à la mise en œuvre d'un algorithme de *machine learning*.

Le projet *MindMath*¹ vise à la construction d'une plateforme d'entraînement aux mathématiques du collège (algèbre et géométrie). Il regroupe deux laboratoires de recherche (LDAR et LIP6) et trois entreprises (Tralalère, CabriLog et Domoscio). Une spécificité du projet est d'articuler les expertises, du LDAR en didactique, du LIP6 et de Domoscio en IA et de Tralalère et CabriLog en matière éditoriale. Dans la plateforme, l'élève réalise des exercices, organisés au sein de parcours d'entraînement adaptatifs, durant lesquels il bénéficie de rétroactions. La production des exercices et des parcours, le contenu et la décision des rétroactions sont fondés épistémologiquement et didactiquement (Jolivet *et al.*, 2021a).

Dans cet article, nous nous concentrons sur la réification du modèle de description de rétroaction et sur la décision des rétroactions d'une manière générale. Le lecteur intéressé par d'autres éléments, en particulier sur les hypothèses didactiques qui ont fondé le travail et de premiers retours d'expérimentations peut se référer à (Jolivet *et al.*, 2021b).

Nous illustrons dans les sous-sections suivantes, pour le cas de *Mindmath*, les deux enjeux identifiés dans la section 4 : l'arbre de décision et la fonction de récompense de l'algorithme d'apprentissage.

5.2.1. Arbre de décision dans *Mindmath*

Le processus de décision des rétroactions s'appuie sur une implémentation de l'arbre de décision introduit dans la section 4.4. Plusieurs variables sur les apprenants (leur niveau de raisonnement, leurs erreurs classiques, etc.), les caractéristiques de la tâche et l'état de la résolution (nombre de tentatives, nature de la demande de rétroaction, nature de l'erreur, etc.) sont observées par l'agent RL.

La figure 5 présente un extrait de l'arbre de décision utilisé pour décider les rétroactions. Les valeurs 0, 1 et 2 présentes sur certaines branches spécifient le rapport de l'apprenant au savoir travaillé.

¹ Projet lauréat du Fond unique interministériel 23. <http://mindmath.education/>

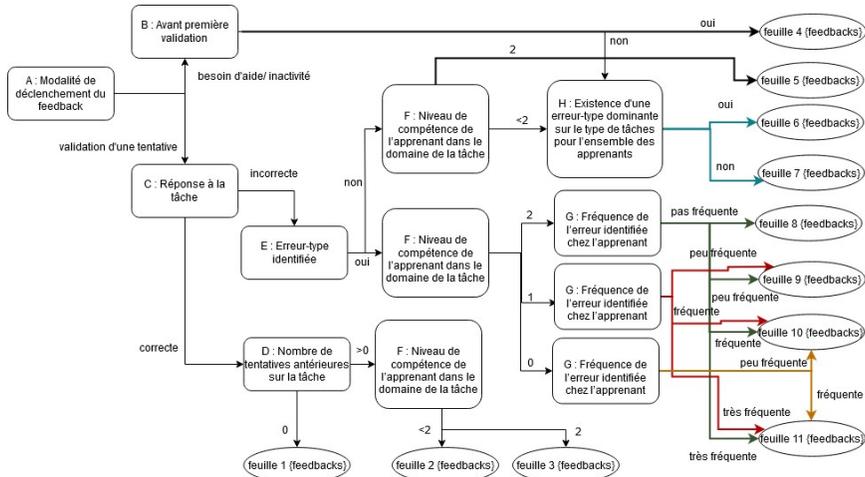


Figure 5 • Extrait de l'arbre de décision des feedbacks construit avec des didacticiens

Le peuplement des feuilles est réalisé avec différentes rétroactions décrites selon le modèle présenté dans la section 3.2. Les tableaux 5 et 6 présentent les peuplements réalisés respectivement pour les feuilles 5 et 11 de la figure 5, avec les pondérations précisées dans la dernière colonne. La feuille 5 correspond au cas d'une réponse erronée, sans erreur type identifiée, pour un apprenant qui possède de bonnes compétences. La feuille 11 correspond au cas d'une réponse erronée, associée à une erreur qui est de plus très fréquente chez l'apprenant dont le niveau de compétence est faible.

Tableau 5 • Description des rétroactions et pondérations associées pour la feuille 5 de l'arbre de décision

Contenu	Annotation	Erreur	Fonction	Donnée	Pondération
Justification	Non	Non	Retour	Gén.	0,3
Justification	Oui	Non	Retour	Gén.	0,3
Procédure	Non	Er ₁	Retour	Gén.	0,2
Procédure	Non	Non	Retour	Gén.	0,2

Er₁ est l'erreur la plus fréquente sur des tâches similaires à celle à traiter.

Tableau 6 • Description des rétroactions et pondérations associées pour la feuille 11 de l'arbre de décision

Contenu	Annotation	Erreur	Fonction	Donnée	Pondération
Procédure	Oui	E_{r_j}	Retour	Inst. à une tâche	0,3
Procédure	Oui	Non	Retour	Idem	0,3
Procédure	Oui	E_{r_j}	Retour	Idem	0,2
Procédure	Oui	Non	Retour	Idem	0,2

L'approche que nous avons implémentée dans le cadre du projet *Mindmath* consiste à faire apprendre à l'agent RL une politique de décision des rétroactions au fur et à mesure de la réception des données et en maximisant l'espérance de la récompense telle que définie par les experts (voir section 4.4).

Nous avons choisi d'implémenter le *Q-learning* qui est un algorithme RL particulier (Watkins, 1989). Un des avantages du *Q-learning* est qu'il permet de comparer les récompenses probables de sélectionner telle ou telle rétroaction sans avoir un modèle de l'environnement (*Model free*). Le système de décision apprend une fonction de valeur état-action notée Q qui permet de maximiser la récompense sur le long terme :

$$Q: S \times A \rightarrow R$$

où S est l'ensemble des états du triplet $\langle A|R|T \rangle$, A est l'ensemble des rétroactions possibles pour S et R l'espérance des récompenses futures.

L'algorithme du *Q-learning* fonctionne comme suit : au début de l'apprentissage automatique, la fonction Q est initialisée avec des pondérations données par les experts (voir tableaux 5 et 6) qui représentent leur évaluation de la pertinence des rétroactions pour les différents états. Ensuite, à chaque choix d'action du système (dans notre cas une rétroaction), l'agent observe la récompense et le nouvel état (qui dépend de l'état précédent et de l'action actuelle). Le cœur de l'algorithme est une mise à jour de la fonction de valeur Q à chaque étape comme suit :

$$Q[s, a] := (1 - \alpha)Q[s, a] + \alpha \left(r + \gamma \max_{a'} Q[s', a'] \right)$$

où s' est le nouvel état, s est l'état précédent, a est l'action choisie, r est la récompense reçue par l'agent, α est un nombre entre 0 et 1, appelé facteur d'apprentissage, et γ est le facteur d'actualisation.

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

Des expérimentations sont en cours pour comparer cette approche, qui combine l'expertise humaine avec l'algorithme du *Q-learning*, à une approche purement experte, c'est-à-dire en utilisant l'arbre et les valeurs décrites initialement.

5.2.2. Fonction de récompense dans *Mindmath*

Nous avons aussi fait le choix de faire appel à l'expertise humaine dans la politique des rétroactions en définissant des fonctions de récompense appropriées (Bunel *et al.*, 2018 ; Gupta *et al.*, 2019 ; Efremov *et al.*, 2020).

Dans le cadre de la plateforme *MindMath*, le modèle que nous avons proposé apprend à décider des rétroactions à destination d'apprenants en privilégiant leur réussite dans la tâche en cours et en minimisant la quantité d'information contenue dans ces rétroactions. La quantité d'information d'une rétroaction dépend de sa modélisation selon le modèle présenté précédemment (voir section 3.2.1). Pour chaque élément de contenu (procédure ou justification) et chaque annotation, nous avons associé une quantité d'information qui dépend du caractère plus ou moins informatif de l'élément. La quantité d'information globale d'une rétroaction est la somme des quantités d'information associées à ses composantes. Par conséquent, plus le contenu et les annotations d'une rétroaction sont nombreux, plus la récompense à l'issue de celle-ci diminue. Ce choix est motivé par le fait que plus la rétroaction est informative, plus elle va permettre la réussite de l'élève dans la tâche sans pour autant garantir son apprentissage.

Par exemple, une rétroaction où des éléments de la procédure et de l'erreur sont affichés à l'apprenant a une quantité d'information supérieure à une rétroaction où on a uniquement un élément de justification. La première pourrait davantage favoriser la réussite de l'élève dans la tâche par rapport à la deuxième rétroaction, donc sa récompense est affaiblie pour éviter d'apprendre une politique Π où seules les rétroactions les plus informatives sont sélectionnées.

Bien entendu, d'autres objectifs, basés sur le modèle de rétroaction proposé, peuvent orienter la définition de cette fonction de récompense (par ex. maximiser le gain d'apprentissage des apprenants sur le long terme) et influencer ainsi la politique de décision des rétroactions. Ces objectifs n'ont pas été mis en œuvre dans le cadre du projet *Mindmath*.

5.3. Premier bilan du cas d'étude *Mindmath*

Lors de la conception de l'arbre, nous avons pris en compte les éléments clés relatifs à l'efficacité des rétroactions pointés dans l'état de l'art

(section 2) tels que la prise en compte de l'erreur de l'apprenant et son niveau. La mise en relation de ces éléments avec les rétroactions disponibles a été permise par la description des rétroactions fondée sur des éléments didactiques.

Il faut noter que les choix réalisés pour associer les rétroactions aux feuilles ont notamment été contraints par certaines spécificités du projet (rétroactions effectivement produites, tâches présentes dans le projet, format des rétroactions). Cependant la démarche à retenir est l'exploitation du modèle pour caractériser didactiquement les rétroactions et leur associer une pondération. Cette démarche est développée dans (Jolivet *et al.*, 2021b). Il nous semble raisonnable de penser que le processus de mise en relation d'un arbre de décision avec des rétroactions (produites ou à produire) décrites à l'aide du modèle peut être exploité dans d'autres cas que celui de *Mindmath*.

Le processus de production des rétroactions, présenté dans la section 5.2.2, a aussi permis de faire émerger différentes difficultés qui ne sont pas prises en charge par le modèle dans son état actuel. Il s'agit d'ailleurs d'éléments qui ont aussi été mis en évidence lors la première évaluation réalisée avec les experts didacticiens : le modèle, s'il permet de définir le contenu de la rétroaction, ne permet en revanche pas de rendre compte de la réification de ces contenus. Or, par exemple, le choix du registre de représentation sémiotique pour formuler une justification a un impact didactique connu dans de nombreux cas et peut aussi avoir un impact sur l'utilisabilité de la rétroaction par l'apprenant, selon qu'il est familier ou non du registre utilisé (par exemple le théorème de Pythagore donné en langue naturelle ou avec une figure accompagnée d'une formule).

Enfin, la modélisation formelle des rétroactions a permis d'aider à définir les éléments du processus de décision (l'arbre de décision, la fonction de récompense). Cependant, il reste à évaluer, du point de vue informatique, la convergence de l'algorithme de décision sur des données réelles.

6. Limites et perspectives

Nous concluons cet article par deux propositions d'ouverture, l'une relative à l'exploitation du modèle, l'autre en lien avec les questions soulevées sur un plan informatique.

6.1. Un modèle pour étudier des environnements numériques d'apprentissage, ou aider à leur conception

Dans l'article nous avons présenté notre modèle de rétroaction comme moyen de décrire des rétroactions, avec une dimension didactique, et son exploitation pour leur décision.

Nous soulignons deux autres exploitations pertinentes du modèle :

- guider la production de rétroactions dans le cadre de la conception ou de l'enrichissement d'un environnement numérique d'apprentissage ;
- évaluer des EIAH en décrivant, analysant, comparant les rétroactions, selon les différentes composantes du modèle, dans un ou plusieurs environnements numériques d'apprentissage.

Si cette seconde perspective n'a été qu'ébauchée lors de l'analyse de rétroactions de *Carnegie Learning* et *MindMath* dans le cadre de la validation du modèle, la première a été largement explorée dans le cadre du projet *MindMath*.

Ainsi, dans le projet *MindMath*, le modèle de description a été exploité pour guider la définition et la production des rétroactions. Plus précisément, il a été utilisé comme langage de communication entre trois groupes d'acteurs du projet :

- les experts en didactiques qui souhaitaient caractériser les rétroactions pertinentes de leur point de vue ;
- le producteur de rétroactions, non didacticien, qui devait articuler attentes des didacticiens et contraintes de production de la plateforme (contraintes temporelles, éditoriales et techniques) ;
- les informaticiens en charge de la décision des rétroactions qui avaient besoin de rétroactions décrites d'une manière standardisée.

La capacité du modèle à remplir cette fonction auprès des trois groupes d'acteurs a débouché sur la production effective de 142 rétroactions, en lien avec 5 thèmes mathématiques (la réduction, le développement et la factorisation d'expressions algébriques ; la résolution des équations du 1^{er} degré ; la construction de triangles à partir d'informations sur les côtés et les angles). Cette production a permis la prise en compte des attentes des experts en didactique et la possibilité pour les informaticiens de gérer de manière systématique, et avec un coût de développement moindre, leur recommandation. Pour des précisions sur les limites et difficultés liées à ce processus nous renvoyons le lecteur vers (Jolivet *et al.*, 2021b). Il s'agit pour nous d'un critère supplémentaire de validation du modèle.

Un enseignement important peut être tiré de cette expérience pour des travaux de conception et de développement d'EIAH : lors de la production effective des rétroactions, même si elles sont décrites assez finement, par exemple à l'aide de notre modèle, il y a un nombre important de réifications possibles de la description. En effet, pour un même contenu, l'attribution de valeurs différentes aux composantes *annotations, données, fonctions*, permet de définir un ensemble de rétroactions variées. Certains de ces choix peuvent ne pas s'avérer neutres sur un plan didactique, d'autres sont contraints par les spécificités techniques de l'environnement.

Au final, cela met en évidence deux éléments : tout d'abord qu'une analyse des effets des rétroactions sur l'apprenant ne peut être menée uniquement en s'appuyant sur leur description à partir du modèle mais peut nécessiter, en particulier en cas de résultats contradictoires ou difficilement interprétables, d'examiner les rétroactions réellement formulées et pas seulement leur catégorie. D'autre part, si on souhaite produire des rétroactions, il faut un prolongement du modèle qui permettrait de préciser la forme, et pas uniquement les contenus, des rétroactions à produire. L'exploitation effective d'un tel modèle étendu nécessiterait la conception d'outils auteurs, à la fois pour l'expert du domaine qui souhaite décrire les rétroactions à produire, et pour le producteur qui doit assurer la production effective de celles-ci. Il s'agit de considérations qui sont hors du champ de notre travail actuel.

Il reste enfin important de garder à l'esprit qu'en complément des problématiques liées à la production des rétroactions que nous avons esquissées, il n'est pas possible d'avoir des certitudes sur l'effet d'une rétroaction ni sur les causes de cet effet, comme le pointe Rezat : « *no matter how carefully the tasks in e-textbooks and the feedback messages are designed, it is very likely that they still contain irrelevant information, which might become salient in students' solution processes. Therefore, tasks, feedback messages, and diagrams need to be designed very carefully and as unambiguously as possible* » (Rezat, 2021, p. 1443).

Cet élément et la diversité des rétroactions potentielles motivent l'utilisation d'un algorithme de décisions de type *machine learning* qui permettra, au fil des itérations, de préciser quelles sont les rétroactions les plus efficaces. Notre problématique est réellement à l'intersection de questions informatiques et didactiques : conception, initialisation, choix des paramètres, etc. des algorithmes ; puis capacité à interpréter les résultats. Nous développons brièvement ces perspectives informatiques dans la section suivante.

6.2. Perspectives informatiques

Nous avons abordé le problème difficile de la décision des rétroactions en combinant l'expertise humaine et l'algorithme *Q-learning*. L'expertise humaine intervient à deux niveaux de la décision :

- d'abord, dans la construction de l'arbre de décision permettant de relier des variables sur l'apprenant, sur sa résolution et sur la tâche en cours à un ensemble de rétroactions possibles ;
- ensuite, dans la définition de la fonction de récompense du *Q-learning*.

L'implémentation de l'algorithme de décision a été testée sur des données synthétiques pour vérifier la convergence et déterminer la valeur de certains hyperparamètres de l'algorithme d'apprentissage du *Q-learning* (les facteurs α et γ pour la fonction de valeur par exemple). Ces données synthétiques ont été générées en considérant des comportements théoriques d'élèves. La démarche qui a guidé cette génération de données est la suivante: considérer trois modes de raisonnement des élèves théoriques (idoine, en construction, non adapté) - voir (Jolivet et Grugeon, 2022) pour plus de précisions - et définir pour chaque mode une probabilité d'échec de l'élève dans la tâche, qui dépend également du type de rétroaction reçue (procédure ou justification). Nous avons par exemple défini une forte probabilité d'échec pour des élèves ayant un mode de raisonnement non adapté et ayant reçu des rétroactions de justification peu informatives. Ces données synthétiques ont été utilisées pour rechercher les hyperparamètres du *Q-learning* et non pas pour l'apprentissage de la politique de décision.

Des expérimentations en situation écologique avec des élèves dans le cadre du projet *MindMath* sont prévues prochainement et vont permettre de recueillir à grande échelle des données issues de la plateforme. En particulier, nous travaillons sur différentes fonctions de récompense et ces expérimentations permettront de les tester sur des données réelles.

Il est également nécessaire de comparer cette approche mixte avec d'autres travaux récents sur la décision de rétroactions (Price *et al.*, 2017; Efremov *et al.*, 2020).

RÉFÉRENCES

Bassen, J., Balaji, B., Schaarschmidt, M., Thille, C., Painter, J., Zimmaro, D., Games, A., Fast, E. et Mitchell, J. C. (2020). Reinforcement learning for the adaptive scheduling of educational activities. Dans *CHI'20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (12 p.). ACM.

- Bimba, A. T., Idris, N., Al-Hunaiyyan, A., Mahmud, R. B. et Shuib, N. L. B. M. (2017). Adaptive feedback in computer-based learning environments: A review. *Adaptive Behavior*, 25(5), 217-234. <https://doi.org/10.1177/1059712317727590>
- Bouhineau, D. et Nicaud, J.-F. (2006). Aplusix, un EIAH de l'algèbre. Dans M. Grandbastien et J.-M. Labat (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (p. 333-350). Hermès-Lavoisier.
- Brooks, C., Carroll, A., Gillies, R. M. et Hattie, J. (2019). A Matrix of Feedback for Learning. *Australian Journal of Teacher Education*, 44(4), 14-32.
- Bull, S. et Kay, J. (2016). SMILL: A framework for interfaces to learning data in open learner models, learning analytics and related fields. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26, 293-331.
- Bunel, R., Hausknecht, M., Devlin, J., Singh, R. et Kohli, P. (2018). *Leveraging grammar and reinforcement learning for neural program synthesis*. arXiv. <http://arxiv.org/abs/1805.04276>
- Cazes, C. et Vandebrouck, F. (2008). L'activité des élèves sur les bases d'exercices en ligne. Dans F. Vandebrouck (dir.), *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants* (p. 149-218). Octarès.
- Chaachoua, H., Bessot, A., Romo, A. et Castela, C. (2019). Developments and functionalities in the praxeological model. Dans M. Bosch, Y. Chevallard, F. Javier Garcia et J. Monaghan (dir.), *Working with the anthropological theory of the didactic: A comprehensive casebook* (p. 41-60). Routledge.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : Perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherche en didactique des mathématiques*, 12(1), 83-121.
- Chi, M., VanLehn, K., Litman, D. et Jordan, P. (2011). Empirically evaluating the application of reinforcement learning to the induction of effective and adaptive pedagogical strategies. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 21(1), 137-180.
- Clement, B., Roy, D., Oudeyer, P.-Y. et Lopes, M. (2015). Multi-armed bandits for intelligent tutoring systems. *Journal of Educational Data Mining*, 7(2), 20-48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3554668>
- Dawson, P., Henderson, M., Ryan, T., Mahoney, P., Boud, D., Phillips, M. et Molloy, E. (2018). Technology and feedback design. Dans M. J. Spector, B. B. Lockee et M. D. Childress (dir.), *Learning, design, and technology: An international compendium of theory, research, practice, and policy* (p. 1-45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17727-4_124-1
- Doroudi, S., Aleven, V. et Brunskill, E. (2019). Where's the reward? *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 29(4), 568-620.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 5, 37-65.
- Efremov, A., Ghosh, A. et Singla, A. (2020). Zero-shot learning of hint policy via reinforcement learning and program synthesis. Dans *Proceedings of the International Conference on Educational Data Mining (EDM 2020)* (p. 388-394).
- Frenoy, R., Soullard, Y., Thouvenin, I. et Gapenne, O. (2016). Adaptive training environment without prior knowledge: Modeling feedback selection as a multi-armed bandit problem. Dans *Proceedings of the 2016 Conference on User Modeling Adaptation and Personalization* (p. 131-139). ACM.
- Galpérine, P. (1966). Essai sur la formation par étapes des actions et des concepts. Dans A.-N. Léontiev, A. Luria et A. Smirnov (dir.), *Recherches psychologiques en URSS* (p. 114-132). Moscou : Éditions du Progrès.

Sébastien JOLIVET, Amel YESSAD, Mathieu MURATET, Elann LESNES, Brigitte GRUGEON-ALLYS, Vanda LUENGO

Gupta, R., Kanade, A. et Shevade, S. K. (2019). Deep reinforcement learning for syntactic error repair in student programs. Dans *Proceedings of the 33th AAAI Conference on Artificial Intelligence* (p. 930-937).

Hattie, J. et Gan, M. (2011). Instruction based on feedback. Dans *Handbook of research on learning and instruction* (p. 263-285). Routledge.

Hattie, J. et Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>

He-Yueya, J. et Singla, A. (2021). Quizzing Policy Using Reinforcement Learning for Inferring the Student Knowledge State. Dans *Proceedings of the International Conference on Educational Data Mining (EDM 2021)* (p. 533-539).

Jolivet, S., Lesnes-Cuisiniez, E. et Grugeon-Allys, B. (2021). Conception d'une plateforme d'apprentissage en ligne en algèbre et en géométrie: Prise en compte et apports de modèles didactiques. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 26, 117-156.

Jolivet, S., Yessad, A., Muratet, M., Luengo, V., Reiter, B., Grugeon-Allys, B. et Lesnes-Cuisiniez, E. (2021). Feedbacks épistémiques dans une plateforme d'entraînement aux mathématiques: modèle et décision, apports croisés de l'informatique et de la didactique. Dans M. Lefevre, C. Michel, T. Geoffre, M. Rodi, L. Alvarez et A. Karoui (dir.), *Actes de la 10^e Conférence sur les environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (p. 82-93).

Jolivet, S. et Grugeon-Allys, B. (2022). Modélisation de parcours d'apprentissage adaptés à l'apprenant dans un EIAH. Dans *Pré-Actes de la 7^e Conférence internationale sur la théorie anthropologique du didactique (CITAD7)* (p. 92-106).

Kluger, A. N. et DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119(2), 254-284.

Lan, A. S., Brinton, C. G., Yang, T. Y. et Chiang, M. (2017). Behavior-based latent variable model for learner engagement. Dans *Proceedings of the International Conference on Educational Data Mining (EDM 2017)* (p. 64-71).

Leibold, N. et Schwarz, L. M. (2015). The art of giving online feedback. *Journal of Effective Teaching*, 15(1), 34-46.

Luengo, V. (2009). *Les rétroactions épistémiques dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain* [Habilitation à diriger des recherches, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, France]. <https://hal.science/hal-00699802>

Luengo, V., Vadcard, L., Tonetti, J. et Dubois, M. (2011). Diagnostic des connaissances et rétroaction épistémique adaptative en chirurgie. *Revue des Sciences et technologies de l'information - Série RIA : Revue d'intelligence artificielle, Lavoisier*, 25(4), 499-524.

Mandin, S. et Guin, N. (2014). Basing learner modelling on an ontology of knowledge and skills. Dans *Proceedings of the 2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies* (p. 321-323).

Mayo, M. et Mitrovic, A. (2001). Optimising ITS behaviour with bayesian networks and decision theory. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, 124-153.

McKendree, J. (1990). Effective feedback content for tutoring complex skills. *Human-Computer interaction*, 5(4), 381-413.

Mory, E. H. (2004). Feedback research revisited. Dans D. Jonassen (dir.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (p. 745-783). Erlbaum.

Murray, J., Gasson, R. et Smith, J. (2018). Toward a taxonomy of written feedback messages. Dans A. Lipnevich et J. Smith (dir.), *The Cambridge Handbook of Instructional Feedback* (p. 79-96). Cambridge University Press.

Murray, R., VanLehn, K. et Mostow, K. (2004). Looking ahead to select tutorial actions: A decision-theoretic approach. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 14, 235-278.

Price, T., Zhi, R. et Barnes, T. (2017). Evaluation of a data-driven feedback algorithm for open-ended programming. Dans *Proceedings of the International Conference on Educational Data Mining (EDM 2017)* (p. 192-197).

Rezat, S. (2021). How automated feedback from a digital mathematics textbook affects primary students' conceptual development: Two case studies. *ZDM - Mathematics Education*, 53, 1433-1445. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01263-0>

Rowe, J. P. et Lester, J. C. (2015). Improving student problem solving in narrative-centered learning environments: A modular reinforcement learning framework. Dans *Proceedings of the 17th International conference on artificial intelligence in education (AIED 2015)* (p. 419-428). Springer.

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of educational research*, 78(1), 153-189.

Small, M. et Lin, A. (2018). Instructional feedback in mathematics. Dans A. Lipnevich et J. Smith (dir.), *The Cambridge Handbook of Instructional Feedback* (p. 169-190). Cambridge University Press.

Stobart, G. (2018). Becoming proficient: An alternative perspective on the role of feedback. Dans A. Lipnevich et J. Smith (dir.), *The Cambridge Handbook of Instructional Feedback* (p. 29-51). Cambridge University Press.

Sutton, R. S. et Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT Press.

Tessier-Baillargeon, M., Leduc, N., Richard, P. R. et Gagnon, M. (2017). Étude comparative de systèmes tutoriels pour l'exercice de la démonstration en géométrie. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 22, 91-117.

VanLehn, K. (2006). The behavior of tutoring systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 16, 227-265.

VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197-221.

Vu, T. M. H. et Tchounikine, P. (2020). Supporting teacher scripting with an ontological model of task-technique content knowledge. *Computers & Education*, 163, 104098.

Watkins, C. J. C. H. (1989). *Learning from delayed rewards* [Thèse de doctorat, Université de Cambridge, Royaume-Uni].

Wisniewski, B., Zierer, K. et Hattie, J. (2020). The power of feedback revisited: A meta-analysis of educational feedback research. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03087>



Évaluation de l'utilité et de l'utilisabilité du service COMPER pour soutenir l'autorégulation dans le travail en autonomie

► **Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL** (Université de Poitiers, Unité de recherche Techné), **Julien BROISIN** (Université Toulouse 3 Paul Sabatier, IRIT), **Nathalie GUIN, Marie LEFÈVRE** (Université Lyon 1, CNRS, LIRIS), **Rémi VENANT** (Le Mans Université, LIUM)

■ **RÉSUMÉ** • Dans cet article, nous présentons l'évaluation et l'analyse de l'utilisation du service COMPER, qui associe un profil de compétences (COM) à des ressources personnalisées (PER), réalisées auprès de 181 étudiants de 1^{re} année de diplôme universitaire de technologie (DUT1) informatique entre 2020 et 2021. Les résultats montrent qu'en dépit d'une utilisation restreinte, le service est globalement jugé utile, en particulier pour les profils d'étudiants travaillant individuellement.

■ **MOTS-CLÉS** • autorégulation, utilisabilité, utilité, autonomie, approche par compétences.

■ **ABSTRACT** • *In this article, we present the evaluation and analysis of the use of the COMPER service, which includes a competency profile (COM) and personalized resources (PER), carried out with 181 students of a First-Year Diploma of Computer Science between 2020 and 2021. The results show that despite a limited use, the service is globally considered useful, especially for the profiles of students working individually.*

■ **KEYWORDS** • *self-regulation, usability, utility, autonomous, competency-based approach.*

1. Introduction

Étudier à l'université demande entre autres, de la part des étudiants, de disposer de certaines compétences en termes d'organisation et de réalisation du travail. Or, la plupart des étudiants entrant à l'université ne sont pas formés à la mise en œuvre des méthodes qui permettent de développer ces compétences ou de mettre en œuvre des stratégies pour remédier au manque de compétences. En effet, une étude sur les habitudes de futurs étudiants (Panadero *et al.*, 2020) montre que la stratégie d'apprentissage la plus courante (70,7 % de l'échantillon de lycéens interrogés) est l'organisation et la transformation de contenu pédagogique par la création de résumés ou de cartes conceptuelles. Les stratégies de recherche d'information (6,7 %), de définition d'objectifs et planification (4 %), ou de demande d'aide aux enseignants (4 %) sont marginales. Seul un participant a déclaré demander l'aide de ses pairs. D'autres stratégies (auto-évaluation, suivi, structuration de l'environnement) sont inexistantes. Il est donc nécessaire de fournir aux apprenants des formes de soutien à l'autonomie dans leurs apprentissages. Ce problème est encore plus critique si l'on considère qu'avec la crise sanitaire liée à la pandémie de COVID-19 en 2020, les étudiants ont dû réaliser la majorité de leurs activités d'apprentissage à distance.

Différents moyens ont été utilisés pour remédier à ce problème, dont ceux visant à aider les étudiants à s'autoréguler (Zimmerman, 1989) et les approches par compétences (APC). L'autorégulation consiste, pour l'apprenant, à activer et maintenir des techniques et ressources (cognitives, matérielles et humaines) en fonction de ses propres objectifs (Schunk, 1994). L'approche par compétences suppose, quant à elle, de disposer, pour un domaine d'apprentissage particulier, d'une description de compétences sous la forme d'un référentiel susceptible de renforcer l'autorégulation en donnant à voir à l'apprenant la représentation de ce référentiel décrivant les compétences visées (Guin et Lefevre, 2017).

Notre objectif consiste à évaluer l'utilisabilité et la pertinence de combiner deux outils, utilisables en présence ou à distance, et conçus pour soutenir les stratégies d'autorégulation des étudiants en s'appuyant sur l'APC : l'accès à des exercices pour le renforcement des compétences et une visualisation du profil des compétences développées. Nous situons ces outils par rapport aux autres formes d'accompagnement du travail en autonomie dans les sections 2 et 3. Pour répondre à notre objectif, nous avons observé l'utilisation et les avis de 181 étudiants de DUT 1^{re} année engagés dans une activité d'apprentissage de la programmation « Shell » et

disposant de ces outils. Les caractéristiques de notre étude sont présentées dans la section 4. Nous avons ensuite croisé l'utilisation et les avis des étudiants sur les outils avec des profils d'apprentissage autorégulé, ces résultats sont présentés en section 5 et discutés en section 6.

2. Accompagner le travail en autonomie à l'université

La modalité de travail « en autonomie » désigne les périodes de travail durant lequel l'apprenant prend en charge lui-même ses activités d'apprentissage alors que se développe le recours aux environnements en ligne dans les parcours de formation hybrides (Charlier *et al.*, 2006), la part de travail en autonomie augmente pour l'apprenant. Dans ce cadre, les capacités de l'apprenant sont mobilisées pour identifier, organiser, planifier des buts d'apprentissage et évaluer les gains d'apprentissage (Cappellini *et al.*, 2017). Ces capacités d'autorégulation ont de ce fait été identifiées comme un facteur de performance de l'apprenant (Wong *et al.*, 2019). La méta-analyse de Richardson *et al.* (2012) révèle ainsi que la mise en œuvre de stratégies de régulation de l'effort, de gestion de temps et de recherche de concentration contribue de façon significative à la réussite de l'apprenant. L'auto-évaluation, la prise en compte des ressources de formation, la recherche d'aide ou encore la définition d'objectifs figurent parmi les autres stratégies jugées efficaces (Panadero, 2017). De cette manière, lorsque ces stratégies sont maîtrisées, l'apprenant se place dans un état autorégulé en contrôlant et modifiant de manière efficace ses conduites pour atteindre des buts fixés (Pintrich, 2000). Ce faisant, l'apprenant ne se borne plus à répondre aux stimuli de l'environnement mis à sa disposition, mais l'organise.

Pour autant, seuls les apprenants les plus âgés ou les plus acculturés au format universitaire disposent des compétences métacognitives permettant de mettre en œuvre ces processus d'autorégulation de l'apprentissage (Kizilcec *et al.*, 2017). En outre, en comparant les stratégies autorégulatrices d'apprenants en fonction de leur contexte de formation, Broadbent (2017) suggère que ceux qui ont accès à un environnement d'apprentissage en ligne mobilisent plus de stratégies autorégulatrices que ceux n'en disposant pas. Le soutien au développement de telles stratégies représente dès lors, un enjeu dont plusieurs chercheurs et praticiens se sont emparés. Pour promouvoir le développement de l'apprentissage autorégulé, différents moyens peuvent être mobilisés.

2.1. Soutien des stratégies autorégulatrices

Les outils proposés pour mesurer et promouvoir l'apprentissage autorégulé ont évolué en trois vagues (Panadero, 2017). Les premiers sont fondés sur des données autorapportées fournies par les étudiants à partir de questionnaires, les deuxièmes sur les traces d'interaction des étudiants avec les plateformes d'apprentissage. Dans ces deux cas, l'exploitation des données contribuait à fournir à l'apprenant ou aux enseignants des vues globales utiles pour faire des diagnostics et adapter leurs comportements. La troisième vague d'outils exploite aussi les traces d'interaction et ajoute des fonctionnalités stimulant la construction des compétences d'autorégulation chez les apprenants (par exemple à travers le recours aux feedback pour les inciter à modifier leurs comportements). La troisième vague inclut des outils combinant des données observées (les traces) et autorapportées (issues de questionnaires), suivant la recommandation de Karabenick et Zusho (2015) selon laquelle les apprenants sont susceptibles d'employer des stratégies autorégulatrices sans en être conscients d'où l'intérêt de multiplier les moyens de les appréhender. Les fonctionnalités les plus répandues dans les outils actuels (2008-2018) correspondent à des outils des vagues 2 et 3 et comprennent des tableaux de bord alimentés à partir des *Learning Analytics* (LA), des agents intelligents et des feedback personnalisés proposés aux apprenants. Cependant, des études (Araka *et al.*, 2020; Panadero, 2017) ont pointé la nécessité d'aller plus loin dans l'exploitation des LA et le manque de modèles permettant la mise en œuvre des outils de type 3^e vague. Les mêmes études distinguent deux types de dispositifs visant à outiller les apprenants en termes d'autorégulation. Le premier type consiste à travailler spécifiquement le développement de l'autorégulation, en aidant les apprenants à les identifier et à les mobiliser. Le second s'inscrit dans une perspective constructiviste et considère que les stratégies autorégulatrices sont mobilisées dans le cadre d'une activité d'apprentissage autre.

Schumacher et Ifenthaler (2018) ont analysé l'intérêt pour l'apprentissage autorégulé de fonctionnalités qui exploitent les traces d'interaction (outils des vagues 2 ou 3). Ils ont en parallèle évalué leur utilité et acceptabilité par les étudiants. La fonctionnalité jugée la plus utile correspond aux invitations à l'auto-évaluation avec retour immédiat, qui peuvent soutenir les phases de réflexion et de performance. Cette fonction est en effet jugée nécessaire pour évaluer l'état de connaissance et planifier les étapes suivantes. Les deux fonctionnalités jugées ensuite les plus utiles sont les recommandations de thématiques ou de cours à étudier en fonction, par exemple, du contenu sur lequel l'apprenant a déjà travaillé.

Quant aux fonctionnalités (toujours proposées à partir des traces) plutôt orientées vers la planification ou le suivi de l'activité, elles ne sont pas jugées utiles ou acceptables par les étudiants, qui sont en mesure de couvrir ces besoins par ailleurs. Ainsi, la méta-analyse de Theobald (2021) met en évidence l'écart entre les bonnes capacités à planifier et à se fixer des objectifs avant l'activité dont font globalement preuve les étudiants utilisant des outils qui promeuvent l'autorégulation (à partir de traces d'activité ou non) en regard de leurs capacités, moins développées, à mobiliser des stratégies ou ressources d'apprentissage pendant l'activité. Dans la même étude, Theobald recommande l'emploi d'approches personnalisées pour couvrir les besoins en termes d'autorégulation des étudiants et le recours aux retours immédiats (feedback) pour les aider à optimiser leurs tâches. Le fait de s'autoévaluer avec retour immédiat nécessite de disposer d'activités ou de fonctionnalités permettant à l'étudiant de se situer par rapport aux objectifs de la formation. Les exercices sont un moyen de faire rapidement le diagnostic des compétences acquises, et l'affichage du profil de compétences est un moyen de se situer par rapport au référentiel de la formation.

2.2. Exercices, visualisation de l'activité et autorégulation

Les générateurs d'exercices de type exercice visent deux fonctions principales : la mémorisation de performances (au sens behavioriste pour désigner des savoir-faire ou savoir-être) et le développement de compétences, à travers un apprentissage par essais et erreurs fondé sur la répétition (Lemerrier *et al.*, 2001). L'exercice conservant des traces de l'activité d'apprentissage et fournissant un feedback immédiat, il facilite la régulation chez l'apprenant et permet une réflexion explicite sur les compétences travaillées (Steffens, 2006). Depover *et al.* (2007) considèrent l'exercice utile pour pratiquer et consolider des savoirs ou savoir-faire, ou tester un degré de maîtrise des savoirs (évaluation formative), ce qui en fait un outil complémentaire à une situation pédagogique existante. Cela suppose que l'enseignant identifie au préalable les notions de référence à travailler sur l'exercice. Sans cette condition, les auteurs signalent le risque pour les apprenants de ne pas faire le lien entre les notions de référence et les exercices proposés dans un contexte de travail en autonomie. Le recours à un outil de visualisation des traces d'activité peut alors faciliter la mise en activité en autonomie de l'apprenant.

La visualisation de l'activité de l'apprenant a notamment été étudiée à travers le concept d'*Open Learning Model* (OLM), qui désigne un modèle qui

**Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN,
Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT**

permet à l'apprenant de visualiser des informations le concernant (Bull et Kay, 2010). Cet outil d'*awareness*, qui prend la forme d'une représentation structurée de l'état de ses connaissances justes et erronées et de ses difficultés (Bull et Kay, 2010), est considéré comme venant en soutien à l'apprentissage (Bodily *et al.*, 2018). Ainsi, la littérature sur la conception des OLM (Bull et Kay, 2009) identifie-t-elle plusieurs bénéfices pour l'apprenant avec un tel outil : l'OLM soutient les activités métacognitives, facilite la consultation et l'accès aux ressources qui lui sont liées et rend l'apprenant plus indépendant, car plus responsable de son apprentissage. Pour Bull et Kay (2010), l'un des principaux défis liés à la conception des OLM porte sur les choix d'interfaces contribuant à un environnement efficient et avec lequel les interactions sont facilitées.

D'un autre côté, les travaux sur le recours aux tableaux de bord démontrent leur efficacité, en particulier dans un contexte d'enseignement en ligne ou hybride (Kizilcec *et al.*, 2017). La visualisation des objectifs permise dans les tableaux de bord fournit en effet aux apprenants des normes par rapport auxquelles se positionner (Sedrakyan *et al.*, 2019). Cependant cette stratégie présente des limites en termes d'efficacité. En effet, le recours à une telle stratégie doit se faire conjointement à l'utilisation d'évaluations pour que les apprenants puissent vérifier l'atteinte des objectifs. De plus, Gasevic *et al.* (2015) soulignent l'effet potentiellement négatif sur la motivation des apprenants de leur fournir des moyens de comparer leur propre réussite à celles de leurs camarades. De leur côté, Sedrakyan *et al.* (2020) suggèrent qu'il faut compléter les approches statistiques, actuellement largement appliquées, par des approches qui intègrent le niveau de préparation et les dépendances entre les objectifs et sous-objectifs d'apprentissage. Ce type de formalisation est en particulier décrit dans les démarches d'APC et, dans un contexte de soutien à l'autorégulation, trois grandes catégories de visualisation, appelées profils (Sedrakyan *et al.*, 2019), peuvent être proposées aux apprenants en exploitant cette déclinaison : les profils de planification, de suivi et d'adaptation. Pour Sedrakyan *et al.* (2019), les profils de planification restituent les prérequis nécessaires pour chaque objectif d'apprentissage (sélection d'un plan d'action, du temps alloué, des ressources nécessaires). Les profils de suivi et d'adaptation doivent proposer des vues d'ensemble, respectivement sur les progrès des apprenants en fonction de leurs objectifs d'apprentissage ou sur les efforts déployés pour atteindre ces objectifs (temps passé, ressources consultées, etc.). Alors que les profils de planification incluent, pour les auteurs, des représentations séquentielles multidimensionnelles, les deux autres types de profils

s'appuient principalement sur des histogrammes et des courbes, pour faciliter la mise en œuvre et l'interprétation des visualisations. Vieira *et al.* (2018) considèrent en effet que ces graphiques sont plus simples d'accès que des représentations multidimensionnelles qui contribuent à favoriser le développement de compétences métacognitives.

Pour résumer, le travail en autonomie peut s'appuyer sur un environnement en ligne, susceptible de permettre le développement de stratégies autorégulatrices, à condition d'outiller les apprenants sur cet aspect. Pour cela, la littérature existante recommande de s'appuyer sur des données de nature double (issues de l'observation et de l'autodéclaration), compte tenu des difficultés rencontrées par les apprenants à s'emparer de ces stratégies. Les moyens pour soutenir l'autorégulation peuvent être dédiés spécifiquement au développement des compétences qui lui sont associées ou se faire à la faveur d'une activité d'apprentissage préexistante. Ces différents moyens d'outiller les trois phases du cycle de l'apprentissage autorégulé, planification, action et autoréflexion (Zimmerman, 1989) ont auparavant pu être jugés de façon plus ou moins favorable par les apprenants, qui ne les investissent pas tous de la même manière. C'est le cas notamment des fonctionnalités outillant les phases d'action et d'autoréflexion. Les principales raisons expliquant ce faible investissement sont liées, pour les auteurs, aux difficultés plus larges des apprenants à mobiliser des stratégies sur ces phases. Pour autant, les travaux sur l'utilisation d'exercices et la visualisation à travers les modèles ouverts d'apprentissage et les tableaux de bord encouragent à explorer ces pistes, à condition d'apporter une vigilance particulière sur la manière dont ils sont mobilisés pour répondre aux besoins de tous les apprenants.

3. Soutenir l'autorégulation dans un cours d'initiation à la programmation Shell

Dans l'objectif de soutenir l'autorégulation dans un cours proposé à des étudiants de 1^{re} année de DUT, plusieurs outils ont été mobilisés dans ce projet : un référentiel de compétences, un outil de génération d'exercices (ASKER) (Lefevre *et al.*, 2015) et un outil de visualisation des profils de compétences des étudiants (module OLM). Ils permettent de couvrir les trois étapes du cycle d'autorégulation, correspondent aux préférences des apprenants (Schumacher et Ifenthaler, 2018) et respectent les recommandations de conception identifiées précédemment (Sedrakyan *et al.*, 2020).

3.1. Les outils observés

Un référentiel de compétences «Programmer en langage Shell», représentant des savoirs et savoir-faire à mobiliser en fonction de compétences cibles, a été conçu à partir d'un métamodèle produit dans le cadre du projet COMPER. Ce référentiel permet, de plus, de décrire les ressources pédagogiques qui peuvent être exploitées pour travailler les compétences (comme des cours mis à disposition en ligne ou des exercices de la plateforme ASKER). Il permet enfin de fournir une structuration des données du profil de compétences qui sera affiché par le module OLM.

La plateforme ASKER (Lefevre *et al.*, 2015) a été mise en œuvre pour proposer des exercices complémentaires au cours, afin d'apprendre en autonomie. Cette plateforme permet en effet à un enseignant de créer et diffuser des exercices d'auto-évaluation pour ses apprenants. La réponse de l'apprenant est automatiquement et instantanément évaluée par le système. L'apprenant reçoit ainsi un retour d'information immédiat lui permettant de s'autoévaluer. Au préalable, l'enseignant définit sur ASKER un modèle d'exercices pour en préciser les caractéristiques. Lorsque l'apprenant se connecte à la plateforme, il a la possibilité de générer un ou plusieurs exercices en fonction du modèle défini par l'enseignant et travaille donc sur des données variées autour d'une même tâche. Dans le cadre du projet COMPER, les exercices proposés par ASKER ont été reliés aux savoirs et savoir-faire décrits dans le référentiel. Ils permettent ainsi à l'étudiant de s'entraîner plusieurs fois sur la même compétence.

Le module OLM permet quant à lui de présenter aux apprenants des profils de compétence sous la forme d'indicateurs décrivant à la fois les objectifs de la formation et les niveaux de maîtrise des savoirs, savoir-faire et compétences associés. Les indicateurs présentés dans le module correspondent donc, pour partie, à des profils de planification (par l'indication des objectifs) et de suivi et d'adaptation (par l'indication des compétences acquises). Les indicateurs du module OLM présentent 4 types d'information.

- Les objectifs sont définis sur la base du référentiel.
- Les taux de maîtrise sont calculés à partir des résultats aux exercices demandés par l'enseignant ou réalisés de manière autonome *via* l'exerciceur. Dans le premier cas l'enseignant fait l'évaluation directement, dans le second l'exerciceur la fait en fonction des traces d'activité de l'apprenant. Chaque exercice étant rattaché à un ou des éléments du référentiel, ce résultat permet de calculer un taux de maîtrise pour les éléments concernés du référentiel. Des taux de maîtrise sont également calculés pour les éléments de haut niveau

dans le référentiel, comme les compétences, à partir des taux de maîtrise des éléments les composant.

– Les taux de confiance permettent d’estimer la fiabilité des taux de maîtrise calculés, en fonction du nombre d’évaluations et de l’ancienneté de ces évaluations.

– Les taux de couverture représentent la complétude des compétences à construire pour atteindre l’objectif.

Sur la base des études sur les différentes manières de présenter aux apprenants le modèle que le système s’est construit de leurs connaissances (Bull *et al.*, 2018; Vieira *et al.*, 2018), quatre profils ont été imaginés (figure 1). Ils se distinguent par la forme du visuel et par les modalités d’interaction.

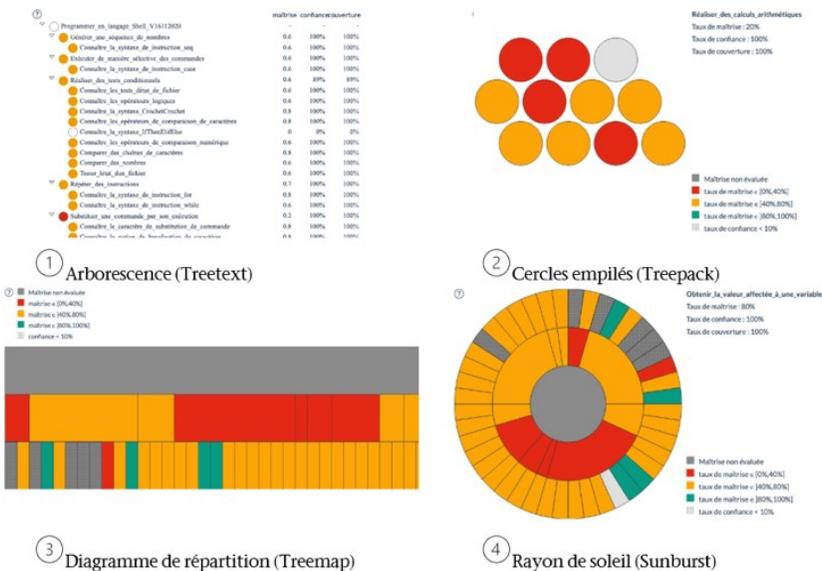


Figure 1 • Visualisations des profils de compétences dans le module OLM du projet COMPER

**Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN,
Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT**

Dans les quatre cas, le même code couleur représente le niveau de maîtrise approximatif. Les vues arborescentes présentent l'ensemble des informations sous forme de liste. Des flèches permettent de réduire ou de développer la liste pour favoriser les vues globales ou spécifiques. Les trois autres profils présentent globalement l'ensemble des objectifs et taux de maîtrise selon des visualisations graphiques différentes : les diagrammes de répartition ou de rayon de soleil favorisent plutôt une vue globale, les cercles empilés une exploration spécifique de chaque compétence. Dans les trois cas, il est possible de prendre connaissance des informations complémentaires sur le taux de maîtrise, confiance et couverture associés à une compétence en passant la souris dessus.

Ces outils permettent, par différents moyens, de soutenir les processus d'autorégulation. ASKER est utilisé depuis plusieurs années en formation universitaire, mais le module OLM et les 4 profils conçus n'ont jamais été testés en conditions écologiques. De manière à tester leur utilité et leur utilisabilité, ils ont été mis en œuvre dans le cadre d'une initiation à la programmation Shell de DUT 1^{re} année, réalisée à distance à partir de novembre 2020.

3.2. Mise en œuvre des outils dans une formation à distance à la programmation

À l'IUT de Toulouse, l'initiation à la programmation Shell en première année est traditionnellement réalisée en présentiel en utilisant Lab4CE (Broisin *et al.*, 2017), une plateforme web de télé-TPs qui dote les apprenants d'une infrastructure de machines et de réseaux virtuels adaptée aux besoins du TP. Du fait de la crise sanitaire, la formation de novembre 2020 a été réalisée à distance et les outils du projet COMPER ont été mobilisés pour accompagner les étudiants dans leur travail en autonomie, lors des 5 séances hebdomadaires de travaux pratiques (TP), suivies de 3 semaines de révision et d'un examen en présentiel. Avant le cours, l'enseignant a défini le référentiel de compétences, les travaux pratiques à réaliser dans Lab4CE et les exercices à réaliser dans ASKER.

Pendant les séances de TP, l'enseignant accompagnait à distance les étudiants sur la réalisation du TP, corrigé et évalué en fin de semaine. Cette évaluation permettait de mettre à jour les profils de compétences. Entre les séances, une liste de ressources triées en fonction des compétences à travailler et donnant accès aux supports de cours et à des exercices ASKER était proposée aux étudiants. Cette liste s'actualisait au cours du temps pour toujours afficher les ressources non travaillées par l'étudiant, qui pouvait ensuite filtrer les compétences qu'il jugeait prioritaires à travailler. L'accès

à l'ensemble des outils était libre durant la phase d'entraînement (durant les TP) et la phase de révision.

3.3. Problématique

Outre le fait de vérifier la faisabilité de l'intégration des outils dans une formation existante, cette mise en œuvre dans le cadre du cours de programmation visait à répondre à différentes questions de recherche liées à l'évaluation de leur utilisabilité, autrement dit leur adéquation en termes de facilité d'utilisation, et de leur utilité, soit leur adéquation en termes de fonctionnalités offertes aux utilisateurs (Senach, 1990).

Question de recherche 1 (QR1) : est-ce que les outils sont utilisables par des étudiants de 1^{re} année de cursus universitaire guidés ponctuellement, mais travaillant globalement en autonomie ? Plus spécifiquement, est-ce que les visualisations proposées dans le profil de compétences sont faciles à comprendre et à exploiter par les étudiants ?

Question de recherche 2 (QR2) : quelle est l'utilité de cet accompagnement en termes d'autorégulation ? Plus spécifiquement, (QR2.1) est-il utile tout au long du cours ou juste pendant une phase donnée ? (QR2.2) Est-il utile à tous les étudiants ou bien uniquement à certains profils d'apprenants autorégulés spécifiques ? (QR2.3) Est-il utile pour construire des compétences d'autorégulation ?

4. Étude

4.1. Participants et tâche

Cent quatre-vingt-un participants ont été sollicités pour réaliser cette expérimentation. Tous sont des étudiants inscrits en première année d'une formation universitaire technologique (DUT), âgés de 17 à 19 ans, majoritairement de sexe masculin (87 % hommes pour 13 % femmes). Les étudiants ont suivi la formation telle qu'elle a été décrite précédemment en travaillant seuls et à distance, de manière synchrone et asynchrone selon les étapes de la formation. Lors des deux premières semaines du cours, et pour qu'ils se familiarisent avec le profil de compétence, les étudiants n'ont eu accès qu'à une forme de visualisation. Ils ont pour cela été répartis en quatre groupes de 45 à 46 étudiants dont la diversité des performances académiques (calculées sur la base d'une épreuve préalable) est équivalente. Les sept semaines suivantes, les étudiants ont eu accès aux quatre visualisations disponibles.

4.2. Données collectées et méthodes employées

Pour identifier les principales stratégies autorégulatrices mobilisées et les éventuels changements de comportements chez les étudiants, le test EAREL (Échelle d'apprentissage autorégulé en ligne) (Cosnefroy *et al.*, 2020) a été mobilisé. Un premier questionnaire, administré en ligne, a donc été proposé sous la forme d'une échelle d'accord à 7 niveaux comprenant 24 items répartis en 4 sous-échelles: le contrôle du contexte d'apprentissage (CTXT), la recherche du soutien des pairs (PAIRS), la procrastination (PROC) et les stratégies cognitives et métacognitives mobilisées pour l'apprentissage (COGN). Ce test EAREL a également été proposé en fin d'expérimentation. Il était complété par un questionnaire sur l'environnement qui incluait des questions sur l'utilité et l'utilisabilité perçue des services, sous la forme de questions fermées et ouvertes. Le test du *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 1996) a été mobilisé pour mesurer spécifiquement l'utilisabilité du module OLM et procéder aux ajustements de reconception nécessaires. D'autres tests auraient pu être utilisés pour mesurer l'expérience utilisateur, dont l'utilisabilité est une composante. Nous avons fait le choix d'utiliser le SUS, car l'objectif était de tester différents aspects actionnables et interprétables de l'OLM et d'estimer les efforts de reconception éventuels plus que l'expérience globale qu'il procure. Le SUS permet d'évaluer l'utilisabilité d'un dispositif selon un score normalisé entre 0 et 100 en utilisant 10 items et une échelle d'accord à 5 niveaux. L'utilisabilité d'un système est considérée comme défaillante si le score est inférieur à 50. De 50 à 70, elle est correcte, mais nécessite d'améliorer des défauts d'utilisabilité, entre 71 et 85 elle est bonne et au-delà de 85, elle est excellente.

Pour compléter les données autorapportées collectées à travers les questionnaires en début et fin d'expérimentation, les traces numériques des activités sur ASKER et le profil de compétences ont été traitées pour décrire le travail en autonomie, conformément à la recommandation de Karabenick et Zusho (2015). Les traces issues d'ASKER renseignent sur la nature des exercices réalisés et sur la nature des actions faites par les usagers. Chaque ligne correspond à une action de l'étudiant liée à la génération d'un exercice (nouvelle tentative) ou à la complétion d'un exercice (une réponse). Les traces correspondant à l'utilisation du profil de compétences renseignent sur l'accès aux visualisations des compétences par les usagers. Chaque ligne correspond à une action de l'étudiant liée à la visualisation par l'un des profils d'une compétence.

Nous avons traité les données collectées par voie de questionnaire selon des techniques de statistiques descriptives et multivariées (une analyse en composantes principales et une partition par K-Means) à l'aide des logiciels Excel et XLStat. Nous avons également comptabilisé les traces des étudiants en fonction de deux mesures principales (tableau 1) : l'intensité dans l'utilisation des services COMPER et la finalité de cette utilisation. L'intensité (faible, modérée, intense) a été déterminée pour chaque étudiant en fonction du nombre d'utilisations enregistrées d'ASKER et du module OLM par rapport à l'utilisation moyenne observée (faible pour une utilisation inférieure à la moyenne, modérée pour une utilisation comparable à la moyenne, intense pour une utilisation supérieure à la moyenne). La finalité (entraînement, révision ou indifférenciée) a été fixée selon que l'étudiant utilise plutôt les services pendant la première période de l'expérimentation (entraînement), la seconde (révision) ou de façon non distincte (indifférenciée).

Tableau 1 • Indicateurs retenus pour l'analyse des traces d'activité des services COMPER (ASKER et module OLM)

Indicateurs	Description
ASKER_utilisation	Nombre total d'enregistrements pour l'utilisation d'ASKER
ASKER_intensité_utilisation	Nombre d'enregistrements pour l'utilisation d'ASKER par étudiant
ASKER_période_utilisation	Nombre total d'enregistrements pour l'utilisation d'ASKER par jour
ASKER_finalité_utilisation	Nombre total d'enregistrements pour l'utilisation d'ASKER par jour et par étudiant
OLM_utilisation	Nombre total d'enregistrements pour l'utilisation du module OLM
OLM_intensité_utilisation	Nombre d'enregistrements pour l'utilisation du module OLM par étudiant
OLM_période_utilisation	Nombre total d'enregistrements pour l'utilisation du module OLM par jour
OLM_finalité_utilisation	Nombre total d'enregistrements pour l'utilisation du module OLM par jour et par étudiant

Des entretiens semi-directifs d'approfondissement ont ensuite été réalisés sur un échantillon de 5 participants pour illustrer et expliquer les stratégies observées selon les habitudes de travail des participants et recueillir leur avis sur de nouvelles propositions de maquettes. Les

**Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN,
Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT**

entretiens se sont déroulés entre fin mars et début avril 2021 à distance (*via* Google Meet). Dans la première partie de l'entretien, les questions portaient sur le parcours académique du participant et ses habitudes de travail en autonomie. La seconde partie consistait à approfondir les réponses des étudiants sur l'utilité, l'utilisabilité, la clarté, l'intention d'usage et à recueillir leurs avis sur les nouvelles propositions de maquettes ou d'autres évolutions souhaitées. Les transcriptions verbatim des entretiens sont utilisées à titre illustratif dans la suite de l'article. Les retours sur les maquettes ne peuvent être considérés comme des expérimentations, ils ne seront donc pas présentés dans les résultats. Néanmoins, ils apportent des éclairages intéressants pour la poursuite du projet. Ils seront présentés en perspective.

5. Résultats

5.1. Capacité des étudiants à mettre en œuvre des stratégies autorégulatrices

Les profils d'autorégulation des étudiants ayant participé à l'expérimentation (tableau 2) sont caractérisés, au début de l'expérimentation, par de bonnes capacités à organiser leur contexte de travail ($m_{CTXT} = 4,84$). Ils communiquent avec leurs pairs ($m_{PAIRS} = 4,13$), mais ont une propension à la procrastination ($m_{PROC} = 4,07$) et indiquent utiliser peu de stratégies de travail ($m_{STRAT} = 3,24$). Les écarts-types et les coefficients de variation sont élevés, il y a donc une forte disparité dans la population. Par ailleurs, on n'observe que peu d'écarts entre les valeurs recueillies avant et après l'expérimentation: au test EAREL2, la maîtrise du contexte reste la dimension la plus élevée ($m_{CTXT} = 4,72$) et les étudiants indiquent rechercher le soutien de leurs pairs ($m_{PAIRS} = 3,84$) et utiliser peu de stratégies de travail ($m_{STRAT} = 3,20$). Le score moyen relatif à la dimension de la procrastination est plus élevé entre le début et la fin de l'expérimentation, mais la différence entre le nombre de répondants aux tests EAREL1 ($n = 94$) et EAREL2 ($n = 59$) et le faible effectif de répondants aux deux échelles ($n = 48$) ne permet pas de procéder à des tests statistiques significatifs.

Tableau 2 • Score moyen (m), écart-type (σ) et coefficient de variation (CV) aux dimensions EAREL en début (EAREL1) et fin d'expérimentation (EAREL2)

	EAREL 1 ($n=94$)			EAREL2 ($n=59$)		
	m	σ	CV	M	σ	CV
Stratégies autorégulatrices						
Contrôle du Contexte (CTXT)	4,84	1,00	21 %	4,72	0,97	21 %
Soutien des pairs (PAIRS)	4,13	1,56	38 %	3,84	1,34	35 %
Procrastination (PROC)	4,07	1,40	34 %	4,40	1,45	33 %
Stratégies (méta-) cognitives (STRAT)	3,24	1,33	41 %	3,20	1,37	43 %

De manière à mieux comprendre la variété des profils SRL, nous avons procédé à une analyse par composante principale (ACP) et à une partition par K-means sur le logiciel XLSTAT. L'ACP réalisée montre que les variables caractérisant les profils sont : le fait de procrastiner et de mettre en œuvre des stratégies de travail (inversement proportionnels sur l'axe 1 de la figure 2), et le fait de communiquer avec ses pairs (axe 2). Les comportements de contrôle du contexte ne sont pas discriminants. En complément, la méthode des K-means a permis d'identifier 4 groupes d'apprenants, structurés selon leur niveau de mise en œuvre des stratégies autorégulatrices.

- Les « décrocheurs » (classe 1 en bleu, $n=29$) n'utilisent pas de stratégie, procrastinent et communiquent peu avec leurs pairs.

- Les « suiveurs » (classe 2 en jaune, $n=28$) utilisent quelques stratégies, mais ont tendance à procrastiner et à se resituer en communiquant avec leurs pairs.

- Les « appliqués solitaires » (classe 3 en vert, $n=26$) utilisent des stratégies, ne procrastinent pas et ne communiquent pas avec leurs pairs.

- Les « efficaces » (classe 4 en orange, $n=22$) utilisent des stratégies, ne procrastinent pas, et communiquent avec leurs pairs.

La figure 2 montre la répartition des étudiants selon les groupes K-means et dans le plan vectoriel composé des axes 1 et 2 de l'ACP.

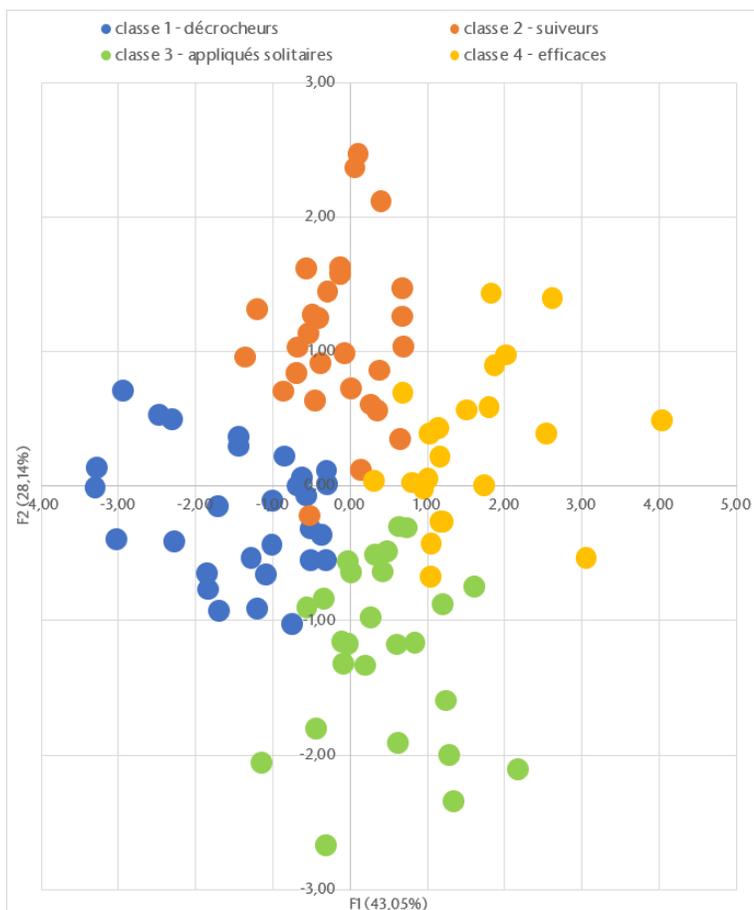


Figure 2 • Distribution des apprenants par classe selon le niveau de procrastination, d'utilisation de stratégies et de demande de soutien des pairs

Sur la base des informations collectées au cours des entretiens semi-directifs, Gaspard et Alexis ont en commun d'avoir commencé leur parcours universitaire avant les autres, ils ont tous les deux commencé une autre formation (un autre DUT pour Gaspard, une licence pour Alexis) et ont choisi de se réorienter ensuite vers le DUT préparé actuellement. Lenaïc, Dorian et Maël ont découvert l'IUT à la rentrée 2020. Alexis, Lenaïc et Gaspard suivent la formation en vue d'un métier précis (développeur web ou testeur pare-feu) alors que les deux autres étudiants interrogés envisagent une poursuite d'études. D'après leurs résultats au test EAREL, Alexis et Lenaïc mobilisent le même type de stratégies autorégulatrices. Ils font partie, selon la classification obtenue par ACP de la classe 1, des

« décrocheurs ». Gaspard mobilise plutôt les stratégies propres à la classe 2 (« suiveurs »), Dorian celles à la classe 3 (« appliqués solitaires ») et Maël, celles à la classe 4 (« efficaces »).

Au niveau de leurs habitudes de travail, Alexis et Lenaïc (classe 1 - « décrocheurs ») mentionnent dans leur discours peu de stratégies autorégulatrices. Alexis explique se mettre dans sa « bulle » et se mettre au travail, sans vraiment prioriser de tâches, excepté si elles sont liées à une évaluation. De son côté, Lenaïc mentionne sa tendance à procrastiner et explique comment il trie le travail à faire selon ses objectifs professionnels futurs.

« Ce que j'essaie de faire c'est que je tente de refaire des exercices, c'est clairement du séquentiel, je prends les exercices et je fais le 1, le 2, le 3, si j'ai su tout faire du premier coup je garde tout en archive, je vois là où j'ai buté là où j'ai pas buté, là où j'ai su faire ou pas faire et je peux reprendre où je me suis arrêté » - Alexis

« Je suis un peu fainéant et j'aime bien procrastiner, donc je fais les devoirs en fonction de si j'en ai vraiment besoin ou pas pour le futur » - Lenaïc

Alexis et Lenaïc travaillent parfois avec d'autres camarades. Pour Alexis, cette modalité est jugée motivante, pour Lenaïc elle est rassurante.

« Généralement, je travaille pas tout seul pour qu'on s'entraide et pouvoir expliquer aux autres, débattre les résultats » - Alexis

« Si vraiment je suis à la ramasse, il se peut que je demande à un [étudiant de] 2^e année ou voir avec les personnes de ma classe, en fonction de si j'ai déjà travaillé avec eux » - Lenaïc

Gaspard (classe 2 - « suiveurs ») semble mobiliser plus de stratégies que ses camarades Alexis et Lenaïc (classe 1 - « décrocheurs »). Ainsi, il a mis en place un rythme de travail régulier la semaine.

« J'essaie de revoir les cours que j'ai le lendemain la veille au soir pour me rafraîchir la mémoire et comme ça si j'ai des questions en cours je peux les poser et je sais de quoi on parle » - Gaspard

Pour cet étudiant, le travail entre pairs est essentiel.

« Je travaille beaucoup avec mon groupe d'amis, on s'entraide vachement, pour réviser ou en classe vu qu'on a un prof pour deux salles en cours donc quand le prof est pas là on n'hésite pas à s'entraider, c'est utile et ça fait gagner du temps » - Gaspard

**Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN,
Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT**

Dorian (classe 3 - « appliqués solitaires ») est l'étudiant interrogé qui paraît le plus maîtriser l'organisation de son travail en autonomie. Il s'aménage dans sa semaine des phases de travail et d'autres destinées à ses loisirs.

« J'essaie de faire le plus de travail possible pendant la semaine ou en journée quand j'ai le temps pour bien discerner le travail du loisir » - Dorian

À la différence des autres, Dorian (classe 3 - « appliqués solitaires ») travaille prioritairement seul lorsqu'il comprend le contenu. C'est uniquement lorsqu'il a des difficultés qu'il va chercher le soutien des pairs, en identifiant, à l'instar de Lenaïc (classe 1 - « décrocheurs »), quelles sont les personnes-ressources à solliciter.

« Si je comprends bien la matière je travaille seul, si j'ai pas bien compris je vais travailler en groupe, généralement avec ceux avec qui je m'entends bien [...] » - Dorian

Maël (classe 4 - « efficaces ») se présente comme ayant une tendance à la dispersion, qu'il tente de maîtriser en restant le plus concentré possible pendant les cours.

« Depuis le collègue je suis très concentré en cours » - Maël

Comme Dorian (classe 3 - « appliqués solitaires »), Maël optimise ses phases de travail en autonomie et se centre sur les contenus non maîtrisés.

« Quand je travaille chez moi je ne reprends pas ce que j'ai compris, c'est vraiment la nécessité de comprendre, si j'ai le déclic ça va aller » - Maël

Comme Alexis, Lenaïc et Gaspard, Maël a pour habitude de chercher le soutien de ses pairs lorsqu'il travaille, pour l'aider et aussi pour le lien social.

« Généralement on est tous sur Discord à côté du Teams du cours... pas que pour travailler, mais aussi pour travailler » - Maël

Aucun des étudiants interrogés n'a indiqué faire de la planification temporelle, généralement, lorsqu'ils planifient, ils procèdent plutôt à une priorisation du travail.

Ces stratégies décrites par les étudiants interrogés au cours des entretiens contribuent à préciser les caractéristiques des 4 classes identifiées. Ainsi, la classe 1 - « décrocheurs » met en œuvre des stratégies en fonction de facteurs de motivation externe (typiquement, l'approche d'un examen). Le travail en autonomie est plus régulier et s'appuie sur plus de stratégies pour la classe 2 - « suiveurs » pour qui l'entraide entre pairs est primordiale. Les classes 3 - « appliqués solitaires » et 4 « efficaces » mobilisent plus de stratégies

et les priorisent en fonction de leurs objectifs. De cette manière, si le travail entre pairs est moins présent chez les étudiants de la classe 3, il est dû à l'efficacité jugée plus haute du travail individuel.

5.2. Utilisation des outils proposés

5.2.1. Analyse de l'utilisation d'ASKER

L'analyse des traces d'activité (figure 3a) montre que 54 % (98/181) des étudiants ont utilisé ASKER au moins une fois au cours de l'expérimentation, 83 ne s'y sont pas du tout connectés. Les étudiants qui l'ont utilisé et ont répondu au second questionnaire (73/181) ont jugé l'exercice utile (61/73) et facile à utiliser (49/73) (figure 4a). La principale raison évoquée par les étudiants pour cette non-utilisation est un manque de temps. Les principaux utilisateurs d'ASKER sont ceux qui communiquent le moins avec leurs pairs (utilisation modérée à intense pour 21 des 29 « décrocheurs » et 20 des 26 « appliqués »). Les étudiants ont utilisé ASKER à la fois dans les phases d'entraînement (pendant les TP) et en phase de révision (entre la fin des TP et l'examen) (figure 5a). Des pics d'utilisation sont observés les jours correspondant aux séances de TP et une nouvelle dynamique se met en place à la fin des TP, pendant la période de révision avant l'examen final. Cette utilisation est motivée par la volonté, pour les étudiants, à la fois de se positionner dans leur parcours d'apprentissage (vérifier s'ils ont compris, savoir où ils en sont) et de cibler et travailler des compétences spécifiques.

5.2.2. Analyse de l'utilisation du module OLM

L'analyse des traces d'activité montre qu'une plus faible part d'étudiants (44 %, 73/181) a utilisé le module OLM (figure 3 b). En fonction des réponses au second questionnaire, l'outil de visualisation est en effet jugé non utile (33/72) et difficile à utiliser (32/64) (figure 4 b). De plus, les étudiants ont indiqué préférer se fier à d'autres ressources, comme les retours directs de l'enseignant, pour évaluer leur progression. Quand il a été utilisé, c'était faiblement, pour 31 % des étudiants (figure 3 b). Certains ne s'y sont connectés qu'une à cinq fois, les jours du TP, et seuls 10 d'entre eux l'ont utilisé lors des TP et une fois les séances de TP terminées (figure 5 b). Sachant que l'évaluation du TP de la semaine précédente effectuée par les enseignants était intégrée au profil de compétences, les étudiants ont utilisé l'outil pour voir leur progression globale sur le cours. Pour mieux comprendre ce qui a freiné l'utilisation de ce service, nous en avons fait une analyse approfondie.

Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN, Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT

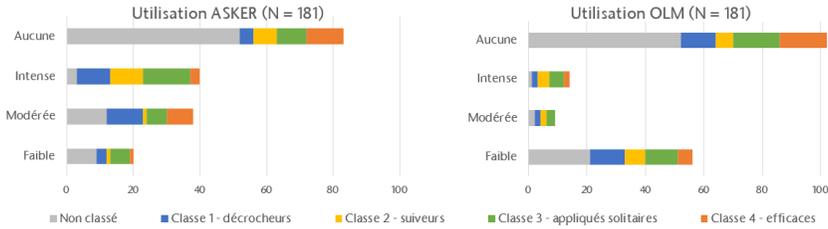


Figure 3 • Nombre d'utilisations d'ASKER (a) et du module OLM (b)

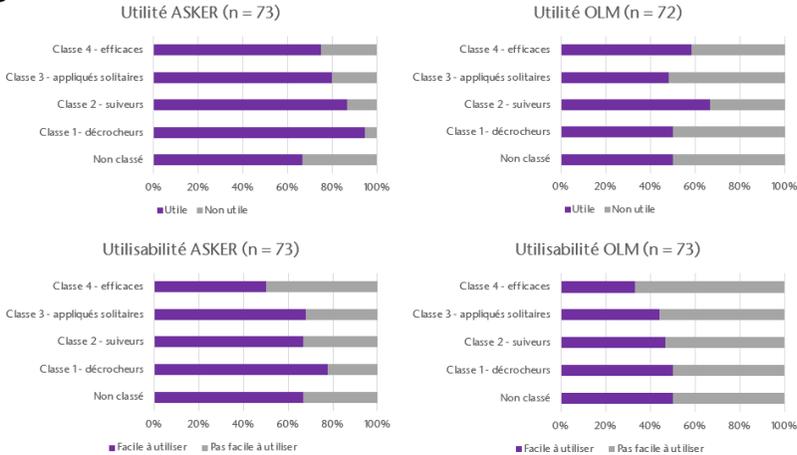


Figure 4 • Avis sur ASKER (a) et avis sur le profil de compétences (b)

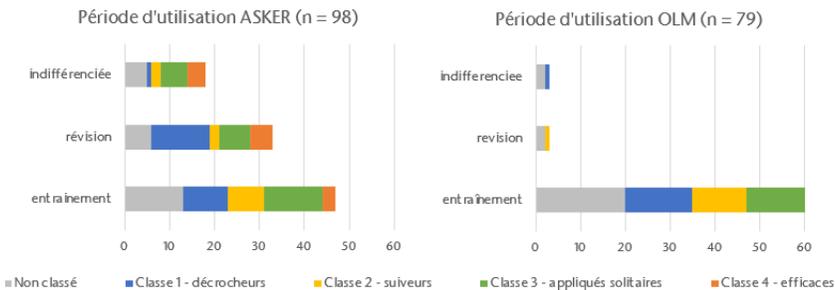


Figure 5 • Période d'utilisation d'ASKER (a) et du profil de compétences (b)

5.3. Analyse des difficultés rencontrées avec le profil de compétences

5.3.1. Analyse de l'utilisabilité

Le score SUS obtenu pour le profil de compétences est de 59,5/100. Le profil de compétences peut donc être considéré comme ayant une utilisabilité correcte, mais limitée. Ces limites (figure 6) sont (i) la nécessité

de recourir au support technique (note moyenne de 3,2/5) et (ii) des difficultés à utiliser le module (items « j’ai trouvé qu’il y a trop d’incohérences dans ce service », note moyenne de 3/5, et « je trouve ce service très lourd à utiliser », note moyenne de 3/5).

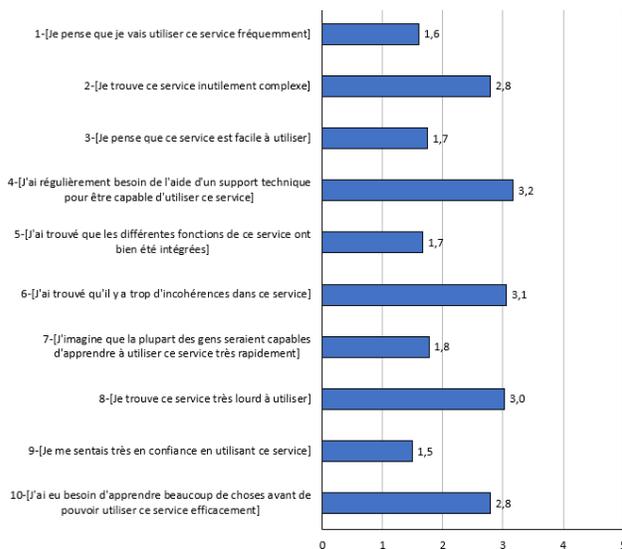


Figure 6 • Score moyen pour chaque item du SUS (1 = pas du tout d'accord, 5 = tout à fait d'accord)

Parmi les étudiants qui ont peu utilisé le module OLM, Dorian (classe 3 - « appliqués solitaires ») mentionne avoir apprécié l’affichage des compétences maîtrisées. Il indique l’avoir consulté par curiosité lors d’un cours et a estimé qu’il n’en avait pas besoin et n’a donc pas poursuivi son utilisation. Inversement, si la consultation du profil de compétences par Gaspard (classe 2 - « suiveurs ») reste limitée (3 connexions pendant l’expérimentation), il l’a jugé utile pour se situer et se rassurer dans son travail, sachant que s’il se fixe des créneaux de travail réguliers, qu’il ne se donne pas d’objectifs et qu’il peut avoir tendance à s’éparpiller.

« Le profil de compétences c’est bien pour savoir où on en est parce que moi je sais que je vais avoir tendance à refaire plusieurs fois les exercices juste histoire d’être sûr que je les comprends bien et le fait d’avoir un système qui te dit c’est bon tu maîtrises, arrête de passer du temps là-dessus ça me rassure » - Gaspard.

Alexis et Lenaïc (classe 1 - « décrocheurs ») ont eux aussi faiblement utilisé le module OLM pendant l’expérimentation. Pour Alexis, la principale raison est qu’il a du mal avec le principe même de rendre visibles les compétences. Pour Lenaïc, l’utilisation a été freinée par la découverte du

Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN, Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT

dispositif ; il aurait souhaité être plus accompagné dans la prise en main des services pour les utiliser davantage.

« [Le profil de compétences est] bizarre, parce qu'il faut presque justifier ce qu'on maîtrise » - Alexis.

« On perdait du temps à lancer la plateforme [Asker], retrouver ses identifiants et se rappeler comment elle fonctionne [...] je pense que ces outils sont pratiques dès lors que les étudiants ont compris comment l'utiliser il faudrait une explication pendant le premier cours » - Lenaïc.

Les freins exprimés par les étudiants au cours des entretiens illustrent et complètent le score d'utilisabilité qu'ils ont attribué au module. Pour aller plus loin dans la compréhension des difficultés rencontrées, nous avons également pris en compte leurs traces d'activité sur le module OLM. Elles montrent toutefois que seule une minorité des traces concerne des erreurs techniques rencontrées par les étudiants, soit à l'affichage d'une compétence, soit au changement de visualisation. Le type de difficultés rencontrées concerne donc plutôt le type de visualisation (la forme) que des problèmes techniques.

5.3.2. Type de visualisation

D'après les traces d'activité, la présentation arborescente est la plus consultée par les étudiants : 46 % des actions sur le profil sont avec cette vue. Quand les étudiants ont eu le choix entre les 4 vues (figure 1), la vue « rayon de soleil » a systématiquement été remplacée par une autre, principalement le diagramme de répartition (à 52 %). Les avis exprimés dans le questionnaire le confirment et montrent que la vue préférée est l'arborescence (pour 37 des étudiants, voir figure 7).

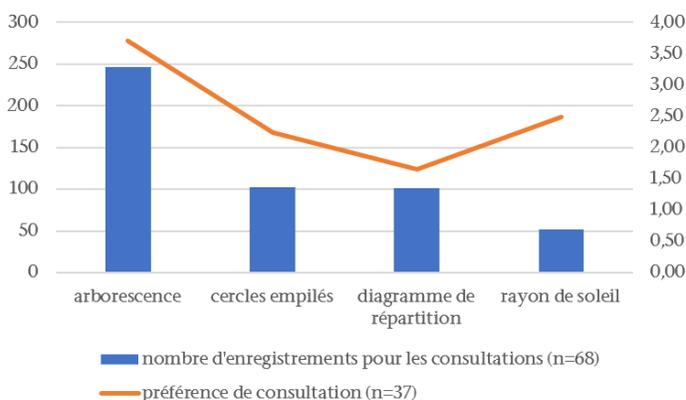


Figure 7 • Nombre de consultations du module OLM selon le type de visualisation (histogramme, en bleu) et préférences de consultation exprimées selon le rang attribué (courbe en orange)

Pour eux, cette visualisation est facile à lire et à comprendre, elle permet de saisir rapidement les compétences présentées. Ils sont minoritaires (5 sur 47) à préférer la présentation du diagramme de répartition. Quand ils disent préférer les autres visualisations, c'est parce qu'il s'agit des premières auxquelles ils ont eu accès, lors de la première phase de l'expérimentation.

6. Discussion

6.1. Utilisabilité et mise en œuvre des outils

Le premier objectif de l'étude était d'identifier l'utilisabilité des services proposés pour des étudiants de 1^{re} année (QR1). Dans l'ensemble, les outils du service COMPER sont jugés faciles à utiliser. Dans le détail, l'exerciseur ASKER a été jugé plus utilisable et a été plus utilisé que le module OLM. Le profil de compétences a obtenu un score d'utilisabilité moyen (59,49/100) qui témoigne des difficultés de compréhension rencontrées. Pourtant, son utilisation, qui n'a pas été totalement abandonnée, et la prédominance de la visualisation sous la forme d'une arborescence, jugée facile à lire et à comprendre, invitent à poursuivre son développement. Ce résultat rejoint la recommandation de Vieira *et al.* (2018) selon laquelle les graphiques les plus simples sont à privilégier dans la conception de tableaux de bord pour en faciliter l'accès et l'interprétation. Cependant les présentations globales et graphiques du profil (cercles, diagramme de répartition, rayon de soleil), sont plus en adéquation avec les caractéristiques de conception des tableaux de bord et sont des visualisations auxquelles les étudiants disent être habitués. Des études complémentaires doivent être menées pour répondre à la QR1.1 et comprendre si cette préférence est liée à la conception intrinsèque des visualisations, à une mauvaise connaissance des objectifs du cours ou à des différences entre étudiants.

Par ailleurs, les résultats confirment le lien entre utilisabilité perçue et utilité réelle des services : les étudiants qui ont évalué le plus favorablement les outils sont aussi ceux qui en ont eu l'utilisation la plus importante et la plus longue dans la durée. Un accompagnement plus explicite à la prise en main du dispositif dans sa globalité (c'est-à-dire intégrant les objectifs de la formation, Lab4CE, le module OLM et ASKER) est une piste intéressante à suivre pour limiter la perception de charge de travail supplémentaire exprimée par certains des étudiants.

6.2. Utilité des outils

Le second objectif de l'étude consistait à comprendre l'utilité de l'accompagnement proposé par COMPER en termes d'autorégulation (QR2). Trois dynamiques ont pu être observées dans l'utilisation du

**Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN,
Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT**

dispositif COMPER, en fonction de périodes d'utilisation distinctes (QR2.1) : la moitié des étudiants a utilisé les services pendant les TP, pour s'entraîner, un quart les a utilisés surtout en vue de l'examen final, pour réviser, et le dernier quart les a utilisés de façon indifférenciée. L'utilisation à des fins de révision va dans le sens d'une régulation de la charge de travail de l'étudiant, et du choix de faire les exercices de renforcement une fois les TP finis. Par ailleurs, si la principale raison motivant l'utilisation des services est d'y trouver une aide pour se repérer dans le parcours d'apprentissage, les résultats du questionnaire et de l'analyse des traces montrent que ce repérage ne s'est pas toujours fait de façon personnalisée. La plupart des étudiants a travaillé toutes les compétences abordées pendant les TP plutôt que de cibler celles proposées par les recommandations. De cette manière, malgré l'affichage de tâches recommandées défendu par Theobald (2021), les étudiants ont éprouvé des difficultés à optimiser leurs activités d'apprentissage. Les prochaines expérimentations prévues dans le cadre du projet COMPER ont donc pour objectif de répondre à ce besoin, en retravaillant les modes d'affichage et les temporalités des ressources personnalisées (par des feedback notamment), selon les préconisations de Karabenick et Zusho (2015) et Panadero (2017).

Le profil d'autorégulation des étudiants a joué un rôle important dans l'utilisation des services (QR2.2). Compte tenu des différences observées (tableau 3), on peut supposer que la mise à disposition d'exercices de renforcement vient principalement pallier le manque de stratégies qui caractérise les étudiants « décrocheurs ». La visualisation des compétences n'est pour l'instant pas exploitable par eux, ce qui confirme le constat de Matcha *et al.* (2019) ou de Kizilcec *et al.* (2017). Les étudiants « suiveurs » et « efficaces » se sont moins emparés des services COMPER. Les « efficaces », ayant déjà des stratégies autorégulatrices, jugent ces services comme peu utiles pour une aide complémentaire. L'utilisation des profils de compétences par les « suiveurs » en période d'entraînement laisse entendre qu'elle n'est liée qu'à l'intégration du service pendant les séances de TP. On observe pour ces deux classes une utilisation d'ASKER surtout en période de révision, l'approche de l'examen ayant pu représenter un facteur motivationnel externe. Enfin, la classe des « appliqués solitaires » se distingue par une utilisation majoritaire des services pendant la période d'entraînement et pas en phase de révision. Comme pour les « efficaces », ils ont mobilisé leurs propres stratégies autorégulatrices. La QR2.2 a donc partiellement été traitée au cours de cette étude, le dispositif COMPER semblant répondre aux besoins des étudiants isolés et qui ne mettent pas ou peu de stratégies autorégulatrices en œuvre. Ce résultat invite à

poursuivre l'analyse pour éventuellement conduire à la production d'un modèle d'accompagnement à l'autorégulation se basant sur les LA, à l'instar des recommandations de Araka *et al.* (2020) ou de Panadero (2017).

Tableau 3 • Principales caractéristiques de l'utilisation des services COMPER par les profils autorégulés

	« Décrocheurs »	« Suiveurs »	« Appliqués solitaires »	« Efficaces »
ASKER	Utilisation importante en période d'entraînement	Utilisation modérée en période de révision	Utilisation polarisée (faible ou intense) en période d'entraînement	Utilisation faible à modérée en période de révision
OLM	Utilisation faible en période d'entraînement	Utilisation faible en période d'entraînement	Utilisation modérée en période d'entraînement	Utilisation faible à modérée en période d'entraînement
	Score SUS parmi les moins élevés	Score SUS parmi les plus élevés	Score SUS correct	Score SUS parmi les moins élevés

Le dernier élément traité concerne la manière dont les compétences d'autorégulation ont pu être construites par les étudiants en expérimentant le scénario pédagogique présenté (QR2.3). L'analyse des écarts entre les échelles EAREL1 et EAREL2 montre que 3 des 4 construits de l'échelle, le contrôle du contexte, du soutien des pairs et de la mobilisation de stratégies autorégulatrices, ont diminué, en moyenne, de -0,5. Les effets de la période de crise sanitaire n'ayant pas été mesurés dans cette étude, il est aussi possible que cette baisse observée aille de pair avec l'état général des étudiants. À l'inverse, la perception de leur procrastination a augmenté (+0,3), ce qui laisse surtout penser que les étudiants ont pris conscience de la manière dont ils travaillent et apprennent.

En outre, la période d'utilisation des outils étant courte (3 mois), elle représente une limite du travail présenté dans cet article et ne permet pas de juger de son utilité. D'ailleurs, d'autres limites ont pu être identifiées : cette expérimentation a été réalisée dans une situation écologique, avec des outils en cours de développement. Du point de vue de la conception, ce choix nous a permis d'identifier les pistes de reconception présentées plus haut (structuration des fonctionnalités, variation des niveaux d'accompagnement) dans une logique itérative. Cependant, le score d'utilisabilité relativement moyen du module OLM et son utilisation limitée partiellement expliquée par des erreurs techniques nous invitent à lire avec précaution les écarts entre les échelles EAREL1 et EAREL2.

6.3. Perspectives

Cette première version de l'OLM était centrée sur le suivi de la performance. La visualisation des objectifs rendait possible des actions de planification, mais sans fonctionnalité support (calendrier, to-do list, etc.) pour l'opérationnaliser. En revanche, aucune fonctionnalité ne permettait de faire le suivi de l'activité. Les maquettes présentées aux étudiants lors des entretiens semi-directifs visaient à tester l'intérêt d'offrir des fonctionnalités complémentaires, en particulier sur ces deux aspects, et d'identifier si, et comment, une forme d'adaptation de l'OLM par l'utilisateur pouvait être réalisée. Sur la base des propositions de Sedrakyan *et al.* (2019) qui décomposent les profils selon les étapes du SRL et promeuvent l'intérêt des tableaux de bord, nous avons proposé des interfaces regroupant les fonctionnalités selon les objectifs SRL visés (fonctionnalité de suivi de la performance/activité/planification) en laissant à l'utilisateur la possibilité de choisir d'utiliser un ou plusieurs groupes de fonctionnalités à utiliser. Dans une seconde maquette, elles ont été combinées pour servir les trois objectifs, mais avec des formes d'interaction de plus en plus précises dans le suivi et donc de plus en plus complexes, toujours en laissant à l'utilisateur la possibilité de choisir le niveau de complexité adapté à ses besoins. L'objectif était ici d'accompagner la progression de l'apprenant dans la maîtrise des processus d'autorégulation par l'instrumentation. Les retours des cinq étudiants confirment l'intérêt de présenter les fonctionnalités de façon adaptable sans vraiment statuer sur la forme d'adaptation la plus pertinente. Un test plus complet de chaque fonctionnalité devra être fait pour potentiellement ne choisir qu'un niveau de complexité et une forme par fonctionnalité. Ensuite, nous devons évaluer si la stratégie de présentation des fonctionnalités selon des vues structurées de type tableau de bord (comme nous l'avons fait dans les maquettes) est adaptée ou si une stratégie plus flexible sur la base de l'activation de widgets est meilleure.

La recommandation de ressource d'apprentissage était l'une des fonctionnalités présentées dans les maquettes. Avoir des recommandations de travail a en effet été identifié comme un des besoins majeurs des étudiants par Schumacher et Ifenthaler (2018). Les retours des étudiants confirment cette observation. Cette fonctionnalité était en cours de développement au moment de l'expérimentation (Sablayrolles *et al.*, 2022). Elle est maintenant opérationnelle et va pouvoir être testée dans la poursuite du projet.

7. Conclusion

Cet article décrit l'expérimentation, par des étudiants de DUT1 en Informatique, de services articulant approche par compétences et autorégulation et conçus pour accompagner le travail en autonomie : l'accès à des exercices de renforcement et à un profil de visualisation de compétences. L'expérimentation a montré que ces services étaient globalement utiles et utilisables, mais de manière différente en fonction des profils autorégulés des étudiants. Les services viennent principalement répondre aux besoins des étudiants qui ont peu développé de stratégies autorégulatrices. En fournissant à ces étudiants des outils pour planifier, contrôler et évaluer leurs apprentissages, ils ont su les mobiliser en phases d'entraînement et de révision. L'étude montre aussi que l'ensemble des services a moins été utilisé par les autres profils identifiés. L'exploitation des données issues des questionnaires et des traces d'activité des outils a permis de confirmer la pertinence de la démarche globale auprès d'étudiants en situation de travail en autonomie. En revanche, notre expérimentation ne nous a pas permis de confirmer que l'environnement testé contribue efficacement à la construction de compétences d'autorégulation.

REMERCIEMENTS

Cette expérimentation et la conception des outils ont été réalisées dans le cadre du projet ANR-18-CE38-0012.

RÉFÉRENCES

Araka, E., Maina, E., Gitonga, R. et Oboko, R. (2020). Research trends in measurement and intervention tools for self-regulated learning for e-learning environments—Systematic review (2008-2018). *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 15(1), 6.

Bodily, R., Kay, J., Aleven, V., Jivet, I., Davis, D., Xhakaj, F. et Verbert, K. (2018). *Open learner models and learning analytics dashboard: A systematic review*. Dans *Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK'18)* (p. 41-50). ACM. <https://doi.org/10.1145/3170358.3170409>

Broadbent, J. (2017). Comparing online and blended learner's self-regulated learning strategies and academic performance. *The Internet and Higher Education*, 33, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2017.01.004>

Broisin, J., Venant, R. et Vidal, P. (2017). Awareness and reflection in virtual and remote laboratories: The case of computer education. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 9(2-3).

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

**Laëtitia PIERROT, Christine MICHEL, Julien BROISIN, Nathalie GUIN,
Marie LEFÈVRE, Rémi VENANT**

Bull, S., Brusilovsky, P. et Guerra, J. (2018). Which learning visualisations to offer students? Dans *Lifelong Technology-Enhanced Learning (EC-TEL 2018)* (p. 524-530). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98572-5_40

Bull, S. et Kay, J. (2010). Open Learner Models. Dans R. Nkambou, J. Bourdeau, et R. Mizoguchi (dir.), *Advances in Intelligent Tutoring Systems* (p. 301-322). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14363-2_15

Cappellini, M., Lewis, T. et Mompean, A. R. (dir.) (2017). *Learner autonomy and Web 2.0*. Equinox. <https://hal-amu.archives-ouvertes.fr/hal-01516138>

Charlier, B., Deschryver, N. et Peraya, D. (2006). Apprendre en présence et à distance. Une définition des dispositifs hybrides. *Distances et savoirs*, 4(4), 469-496.

Cosnefroy, L., Fenouillet, F. et Heutte, J. (2020). Construction et validation de l'Échelle d'autorégulation des apprentissages en ligne (EAREL). *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, 52(3), 255-260.

Depover, C., Karsenti, T. et Komis, V. (2007). Les environnements et les logiciels conçus pour l'enseignement et l'apprentissage. Dans C. Depover, T. Karsenti et V. Komis (dir.), *Enseigner avec les technologies : favoriser les apprentissages, développer des compétences* (chap. 3, p. 85-130). Presses de l'Université du Québec

Gasevic, D., Dawson, S. et Siemens, G. (2015). Let's not forget: Learning analytics are about learning. *TechTrends*, 59, 64-71. <https://doi.org/10.1007/s11528-014-0822-x>

Guin, N. et Lefevre, M. (2017, janvier). *Une approche par compétences pour la formation tout au long de la vie* [communication]. ORPHEE-RDV, Font-Romeu, France.

Karabenick, S. et Zusho, A. (2015). Examining approaches to research on self-regulated learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 10, 151-163. <https://doi.org/10.1007/S11409-015-9137-3>

Kizilcec, R. F., Pérez-Sanagustín, M. et Maldonado, J. J. (2017). Self-regulated learning strategies predict learner behavior and goal attainment in Massive Open Online Courses. *Computers & Education*, 104, 18-33.

Lefevre, M., Guin, N., Cablé, B. et Buffa, B. (2015, juin). ASKER : *Un outil auteur pour la création d'exercices d'auto-évaluation* [communication]. Atelier EAEl (Évaluation des apprentissages et environnements informatiques) - Conférence EIAH' 2015, Agadir, Maroc. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01177830>

Lemercier, C., Tricot, A., Chênerie, I., Marty Dessus, D., Morancho, F. et Sokoloff, J. (2001). *Quels apprentissages sont-ils possibles avec des exercices multimédia en classe ? Réflexions théoriques et compte rendu d'une expérience* [Contribution au rapport du Programme de Numérisation de l'enseignement et de la Recherche. Usages éducatifs des exercices].

Matcha, W., Ahmad Uzir, N., Gasevic, D. et Pardo, A. (2019). A systematic review of empirical studies on learning analytics dashboards: A self-regulated learning perspective. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(2), 226-245. <https://doi.org/10.1109/TLT.2019.2916802>

Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8, 422.

Panadero, E., García-Pérez, D., Fernández-Ruiz, J. et Sánchez-Centeno, H. (2020). A transitional year level to higher education: Challenges, experiences and self-regulatory strategies during the final year of the university preparatory level. *Estudios Sobre Educación*, 39, 109-133. <https://doi.org/10.15581/004.39.109-133>

Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. Dans K.-D. Vohs et R.-F. Baumeister (dir.), *Handbook of self-regulation* (p. 451-502). Academic Press.

Richardson, M., Abraham, C. et Bond, R. (2012). Psychological correlates of university students' academic performance: A systematic review and meta-analysis. *Psychological bulletin*, 138(2), 353-387. <https://doi.org/10.1037/a0026838>

Sablayrolles, L., Lefevre, M., Guin, N. et Broisin, J. (2022, juillet). *Design and evaluation of a competency-based recommendation process* [communication]. Intelligent Tutoring Systems, Bucarest, Roumanie. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03642155>

Schumacher, C. et Ifenthaler, D. (2018). Features students really expect from learning analytics. *Computers in Human Behavior*, 78, 397-407.

Schunk, D. (1994). Self-regulation of self-efficacy and attributions in academic settings. Dans D. Schunk et B. Zimmerman (dir.), *Self-regulation of learning and performance: Issues and educational applications* (p. 75-99). Lawrence Erlbaum.

Sedrakyan, G., Malmberg, J., Verbert, K., Järvelä, S. et Kirschner, P. A. (2020). Linking learning behavior analytics and learning science concepts: Designing a learning analytics dashboard for feedback to support learning regulation. *Computers in Human Behavior*, 107.

Sedrakyan, G., Mannens, E. et Verbert, K. (2019). Guiding the choice of learning dashboard visualizations: Linking dashboard design and data visualization concepts. *Journal of Computer Languages*, 50, 19-38.

Senach, B. (1990). *Évaluation ergonomique des interfaces homme-machine: une revue de la littérature* (Rapport de recherche RR-1180). INRIA. <https://hal.inria.fr/inria-00075378>

Steffens, K. (2006). Self-regulated learning in technology-enhanced learning environments: Lessons of a european peer review. *European Journal of Education*, 41(3-4), 353-379.

Theobald, M. (2021). Self-regulated learning training programs enhance university students' academic performance, self-regulated learning strategies, and motivation: A meta-analysis. *Contemporary Educational Psychology*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.101976>

Vieira, C., Parsons, P. et Byrd, V. (2018). Visual learning analytics of educational data: A systematic literature review and research agenda. *Computers & Education*, 122, 119-135. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.018>

Wong, J., Baars, M., Davis, D., Van Der Zee, T., Houben, G.-J. et Paas, F. (2019). Supporting self-regulated learning in online learning environments and MOOCs: A systematic review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(4-5), 356-373. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1543084>

Zimmerman, B. J. (1989). A social-cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 329-339.



Détection de déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité et remédiation dans un EIAH

► **Thomas SERGENT** (Sorbonne Université, CNRS, LIP6, F-75005 Paris, France — Lalilo), **Morgane DANIEL** (Lalilo), **François BOUCHET**, **Thibault CARRON** (Sorbonne Université, CNRS, LIP6, F-75005 Paris, France)

■ **RÉSUMÉ** • Des travaux de recherche montrent que la capacité à autoréguler son apprentissage a un impact significatif positif sur les résultats scolaires. Nous présentons ici une étude visant à détecter des déficits d'autorégulation de l'apprentissage pour de jeunes élèves, dans le contexte d'une application web d'apprentissage de la lecture. À partir des réponses de 467 116 élèves à deux questions évaluant la difficulté perçue et la difficulté voulue, nous proposons une définition opérationnelle de différentes formes de déficits et mesurons ensuite l'impact de deux stratégies de remédiation pour les réduire. Les résultats soulignent la possibilité d'étayer les compétences d'apprentissage autorégulé dans une application web dès le plus jeune âge, tout en apprenant une autre compétence.

■ **MOTS-CLÉS** • apprentissage autorégulé, *Big data*, fouille de données éducatives, école primaire, apprentissage de la lecture.

■ **ABSTRACT** • *Research shows that the ability to self-regulate one's learning has a significant positive impact on academic outcomes. Here, we present a study to detect some self-regulated learning (SRL) deficits for young students, in the context of a web-based literacy application. Based on the responses from 467,116 student to questions assessing perceived and desired difficulty, we propose an operational definition of different forms of deficits and then measure the impact of two remediation strategies to address them. The results demonstrate that scaffolding SRL skills in a web-based application at an early age, while learning another skill, is indeed possible.*

■ **KEYWORDS** • *Self-regulated learning, Big data, educational data mining, primary school, reading learning.*

1. Introduction

L'apprentissage autorégulé (AAR) est un cycle en trois phases qui se répète à chaque nouvelle tâche à laquelle l'apprenant est confronté (Zimmerman, 2008). Zimmerman identifie la phase d'anticipation pendant laquelle l'apprenant se prépare à la tâche (par ex. choix d'objectifs d'apprentissage ou activation de connaissances antérieures relatives à la tâche), puis la phase de performance pendant laquelle l'apprenant exécute la tâche et où il poursuit ses progrès vers son objectif d'apprentissage, et enfin, la phase d'autoréflexion qui consiste notamment à évaluer son efficacité d'apprentissage afin de tirer des conclusions pour l'apprentissage futur.

L'amélioration des compétences des enfants en matière d'AAR est essentielle pour améliorer les performances scolaires, car les élèves autorégulés savent globalement mieux comment apprendre, ce qui peut avoir un impact positif dans toutes les disciplines (Zimmerman, 2008). Plus les enfants commencent à développer ces compétences tôt, plus l'impact sur l'ensemble de leur scolarité peut se faire sentir. Ainsi, des programmes de formation à l'autorégulation pour les élèves de l'école primaire ont déjà été élaborés dans ce but (Dignath *et al.*, 2008). Néanmoins, il peut être difficile pour les enseignants de se concentrer sur l'aide individualisée à apporter à chaque élève, à la fois sur la tâche à accomplir (par exemple, apprendre à lire) et sur leurs compétences d'autorégulation. Il serait donc préférable que cet apprentissage puisse se faire de manière transverse, en parallèle de l'acquisition des compétences du socle commun.

Nous nous concentrons ici sur la phase d'autoréflexion qui permet de travailler les compétences d'autorégulation sans interférer avec la tâche à accomplir. Dans ce contexte, nous visons plus particulièrement deux aspects : l'auto-évaluation qui concerne les jugements relatifs à sa propre performance (Schunk, 1996) et l'auto-efficacité qui concerne les réactions à ces jugements et la perception de ses propres compétences à accomplir une tâche (Bandura, 2010). En effet, l'amélioration du sentiment d'auto-efficacité est corrélée avec des gains d'apprentissage accrus (Jackson, 2002) et l'auto-évaluation est un processus clé de l'autorégulation (Schunk et Zimmerman, 2012). De plus, l'auto-évaluation est une capacité qui se développe progressivement, mais dont peuvent déjà disposer des jeunes enfants dès l'âge de 5 ans (Stipek *et al.*, 1992), tout comme l'auto-efficacité dans des domaines liés à l'apprentissage de l'écriture (Kim et Lorschbach, 2005).

Lalilo est l'une des nombreuses applications accessibles en ligne utilisées par les enseignants en classe pour les aider à mettre en place une pédagogie différenciée lors de l'apprentissage de la lecture - pour d'autres applications soutenant l'apprentissage de la lecture en français, voir par exemple Ecalte *et al.* (2016). Elle est actuellement utilisée par 40 000 classes de maternelle et élémentaire anglophones et francophones chaque semaine pour renforcer l'alphabétisation en proposant une série d'exercices adaptés au niveau des élèves, tout en offrant à l'enseignant un

tableau de bord pour suivre les activités et les progrès des élèves. Il s'agit donc d'un terrain d'essai pertinent pour évaluer puis essayer de corriger les capacités d'auto-évaluation et d'auto-efficacité. Un défi supplémentaire est qu'il n'existe à notre connaissance pas d'études sur l'application de ces approches aux enfants de cet âge (5-7 ans), d'où le besoin de savoir si l'on peut identifier en contexte ces phénomènes (pour ensuite tenter d'y remédier) et estimer correctement leur fréquence (pour savoir quels déficits viser en priorité).

Plus précisément, nous examinerons quatre questions de recherche :

- (QR1) Comment mesurer les capacités d'auto-évaluation et d'auto-efficacité des jeunes élèves qui apprennent avec une application informatique ?
- (QR2) Les déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité sont-ils des problèmes courants pour les jeunes élèves qui apprennent à lire ?
- (QR3) Peut-on, par un étayage, aider les élèves à améliorer leur capacité d'auto-évaluation ?
- (QR4) Une remédiation orale peut-elle aider les élèves à réduire l'apparition de déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité précédemment identifiés ?

Dans la suite de cet article, nous commencerons par examiner les travaux connexes sur la mesure et l'entraînement des capacités d'AAR dans le cas des jeunes enfants, en particulier dans le contexte d'environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH). En section 3, nous présenterons le fonctionnement de l'application d'apprentissage de la lecture Lalilo, l'intégration des évaluations des compétences d'auto-évaluation et d'auto-efficacité ainsi que les déficits d'autorégulation détectés et leur fréquence. En section 4, nous présenterons les étayages et rétroactions et discuterons de leur impact sur la fréquence des déficits détectés. Enfin, nous concluons et présenterons les perspectives de ce travail en section 5.

2. Travaux connexes

Dans le contexte de l'apprentissage sur ordinateur, l'autorégulation de l'apprentissage peut être soutenue par différents types d'étayages (*scaffolding*) (Azevedo et Hadwin, 2005) comme des invites (*prompts*) (Bouchet *et al.*, 2016) ou des rétroactions (*feedback*) automatisées (Bimba *et al.*, 2017); une méta-analyse des dispositifs informatiques mis en place jusqu'à 2016 pour aider l'autorégulation de l'apprentissage montre leur effet positif significatif sur la progression (Zheng, 2016). Cependant, ces aides à l'autorégulation sont incluses dans des logiciels pour des élèves plus âgés (au-delà du CM2); elles soutiennent l'autorégulation uniquement pendant la phase de performance; enfin la mesure utilisée est celle de la progression dans la tâche cognitive soutenue ou non, et non la progression des capacités d'autorégulation elles-mêmes. En effet, l'autorégulation de l'apprentissage est surtout vue comme soutenant l'apprentissage, plutôt que comme une compétence à évaluer et à entraîner en tant que telle. Dans cet article, nous envisageons un autre angle : celui de la mesure directe de capacités d'AAR et de l'amélioration de celles-ci.

Pour mesurer ces capacités, on a parfois recours – hors cadre informatique – à des journaux d'apprentissage (*learning diaries*) (Schmitz et Perels, 2011), car les traces de systèmes informatiques sont souvent difficiles à interpréter en matière d'autorégulation (Molenaar *et al.*, 2019). Comme précédemment mentionné, des programmes d'entraînement à l'autorégulation de l'apprentissage ont montré leur effet positif significatif chez des enfants à l'école primaire, mais ces travaux ont été menés en dehors d'un contexte informatique (Dignath *et al.*, 2008). D'autres, comme MetaTutor, mesurent et entraînent l'autorégulation mais pour des étudiants du supérieur (Azevedo *et al.*, 2012). De plus, une des conclusions d'Azevedo *et al.* souligne la nécessité d'un temps long pour mesurer un impact, d'où la pertinence de mesurer l'autorégulation dans un logiciel tel que Lalilo utilisé pendant une, voire plusieurs années scolaires (de la Grande Section au CE1 c'est-à-dire de 5 à 7 ans). Le travail de recherche mené par Molenaar *et al.* (2020) vise à entraîner les capacités d'autorégulation d'élèves de CM2 *via* des tableaux de bord. Les auteurs montrent une amélioration des capacités d'autorégulation des élèves ayant accès au tableau de bord, notamment par l'usage de la forme des *Moment by Moment Learning Curves* – une courbe représentant la progression de l'élève au cours du temps, démontrant ainsi également qu'on peut mesurer l'autorégulation chez des enfants assez jeunes avec une approche informatique. Ils proposent ainsi une métrique basée sur les courbes d'apprentissage.

L'auto-évaluation est définie comme la capacité à évaluer correctement ses performances. Elle permet à un élève de comparer la représentation de sa performance avec les résultats attendus avant l'exercice, et de réagir pertinemment à sa performance. La sous-évaluation peut empêcher un élève d'obtenir une récompense intrinsèque lorsqu'il a bien réussi un exercice sans en être conscient, et donc ralentir indirectement ses progrès. La surévaluation peut également avoir des effets négatifs en incitant une personne à essayer des exercices plus difficiles sans avoir encore maîtrisé les exercices faciles, augmentant ainsi le risque d'échecs futurs. L'objectif pour un apprenant est d'être capable de s'auto-évaluer correctement avec aussi peu d'informations que possible sur sa performance dans la tâche, c'est-à-dire d'internaliser le processus d'auto-évaluation avec aussi peu d'échafaudage externe que possible. Dans la littérature, l'auto-évaluation a été étudiée comme la possibilité pour les élèves de se noter eux-mêmes (Brown *et al.*, 2015) ou comme une métrique qualitative pour soutenir la motivation des élèves (Chang, 2005). Nous avons ici une autre perspective, en nous concentrant sur la capacité à s'auto-évaluer, c'est-à-dire en s'assurant que la performance d'un élève sera proche de la représentation qu'il s'en fait, afin que l'élève soit conscient de son véritable niveau.

L'auto-efficacité est définie par la façon dont une personne réagirait à sa performance ou à la représentation de sa performance en termes de confrontation à la difficulté (Dweck, 2014). Des recherches antérieures (Hattie et Clarke, 2018) font référence aux trois zones qu'une enseignante d'école primaire utilisait avec ses élèves : la zone de confort, la zone d'apprentissage et la zone de panique. Le fait de

demander à ses élèves de réfléchir à la zone dans laquelle ils se trouvaient après avoir abordé un exercice a entraîné : (a) une diminution du nombre d'élèves choisissant volontairement des exercices faciles parce qu'ils seraient capables d'en faire beaucoup et (b) une augmentation du nombre d'élèves déclarant qu'ils ne feraient pas de progrès s'ils avaient des exercices trop faciles. Par conséquent, demander aux élèves de réfléchir à la difficulté des exercices qu'ils abordent semble pertinent pour améliorer leur auto-efficacité.

Certains travaux ont déjà tenté d'évaluer l'effet des invites d'autorégulation pour montrer leurs effets positifs sur l'auto-efficacité (Schmitz et Wiese, 2006). Par exemple, Müller et Seufert (2018) ont montré que poser des questions d'autorégulation à des étudiants universitaires avait un impact immédiat qui ne se transférait pas dans le temps. Hoffman et Spataru (2008) ont également montré un impact positif des invites sur l'auto-efficacité, mais avant l'accomplissement de la tâche, et a mesuré l'impact sur la performance plus que sur l'auto-efficacité elle-même. Plus généralement, une méta-analyse (Panadero *et al.*, 2017) a montré qu'encourager l'auto-évaluation des apprenants a un impact positif sur leur auto-efficacité.

3. Évaluer l'auto-évaluation et l'auto-efficacité des élèves

3.1. Contexte

Le logiciel d'apprentissage de la lecture Lalilo possède deux interfaces : une interface élève dans laquelle l'élève répond à des exercices et un tableau de bord enseignant sur lequel ce dernier peut visualiser la progression de ses élèves (non présenté ici). Cet outil étant destiné aux élèves de 5 à 7 ans, il dispose d'une interface volontairement facile à prendre en main. Les consignes sont données à l'oral (et non écrites) et réécoutables. L'application couvre une grande variété d'exercices sur un champ de difficulté étendu, allant de la maternelle avec des exercices d'association graphèmes-phonèmes, jusqu'à des exercices de conjugaison et de vocabulaire pour les CE1-CE2. La figure 1 fournit deux exemples d'exercices, l'un où l'élève doit trier des mots en fonction de leur champ sémantique (gauche) et l'autre où il doit relier un son à la lettre correspondante (droite).

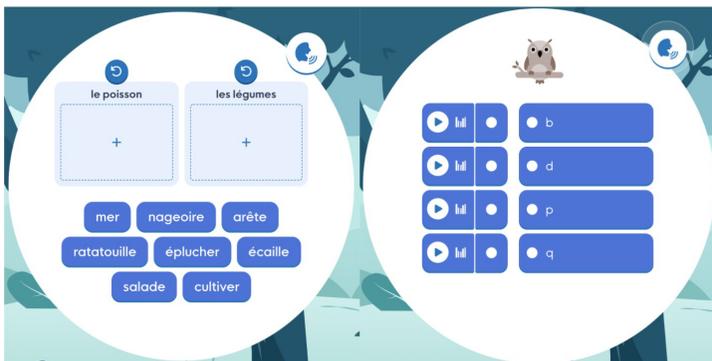


Figure 1 • Exemples d'exercices dans Lalilo en français

Le déroulement typique d'une session (figure 2) est la réalisation par l'élève d'une quinzaine d'exercices courts de 3 à 7 questions chacun, choisis par un algorithme d'apprentissage adaptatif (non détaillé ici). Pour certains types d'exercices, l'élève peut essayer plusieurs fois de répondre à la même question jusqu'à obtenir la bonne réponse. Les énoncés d'autorégulation (décrits en détail dans les parties suivantes) sont déclenchés avec une probabilité fixée (ici 1/15).

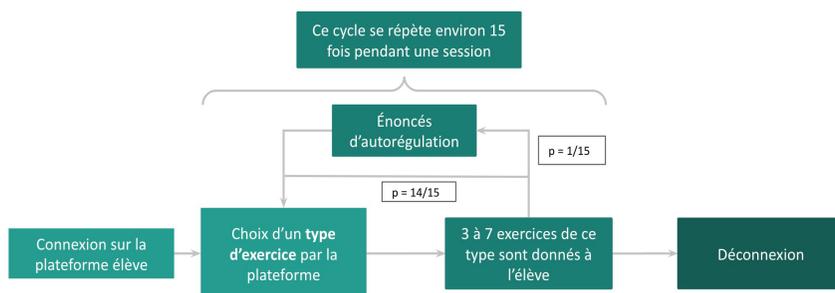


Figure 2 • Session type d'un élève sur Lalilo (durée moyenne : 20 minutes)

Les activités des élèves (par exemple : connexion, temps passé sur une question/un exercice, erreurs) sont tracées. Dans cet article, nous nous concentrerons particulièrement sur les réponses des élèves à un exercice, nous appellerons donc, à partir de maintenant, « trace » uniquement les réponses à cet ensemble de questions du même type.

3.2. Méthodes

Pour évaluer certains aspects des compétences d'autorégulation des élèves, nous avons introduit deux énoncés (figure 3) affichés l'un après l'autre à la fin d'un exercice à la fréquence $Freq_{autoreg}$ d'une fois tous les quinze exercices (Bannert et Reimann, 2012). Chaque élève y répond donc en moyenne une fois pendant une session d'apprentissage type. Quand ils sont affichés, la réponse aux deux énoncés est obligatoire. Une fois qu'une réponse est sélectionnée, un bouton de confirmation s'affiche dessous : par exemple, à droite de la figure 3, l'élève a sélectionné « de même niveau ».

Tout d'abord, l'énoncé de difficulté perçue demande à l'élève : « Quelle était la difficulté de cet exercice pour toi ? ». Ensuite, l'élève doit compléter l'énoncé de difficulté souhaitée « Tu voudrais des exercices... ». L'énoncé de difficulté perçue vise à mesurer la capacité d'auto-évaluation des élèves, c'est-à-dire leur capacité à estimer correctement la difficulté des questions auxquelles ils viennent de répondre. L'énoncé de difficulté souhaitée vise à mesurer leur sentiment d'auto-efficacité, c'est-à-dire la façon dont ils réagiraient à leur propre estimation de la difficulté.



Figure 3 • Énoncés d'autorégulation demandant la difficulté perçue (gauche) puis la difficulté voulue (droite)

Avant d'introduire les évaluations, nous avons vérifié qualitativement dans une classe utilisant Lalilo que les énoncés étaient compris par les élèves de CP. Les élèves interagissaient avec le logiciel normalement pendant qu'un expérimentateur était assis derrière eux et observait leur réaction devant les deux questions. Ensuite une discussion permettait de tester leur compréhension du concept de « difficulté ». Bien qu'informel et sur un échantillon réduit, ce travail a permis de vérifier que les énoncés compris par les élèves ne présentaient pas de décalage par rapport à l'intention sous-jacente. Elle a aussi permis de choisir la formulation la plus claire pour les élèves lorsque plusieurs options étaient envisagées (détails non présentés ici).

Nous avons recueilli des traces de classes de maternelle, de CP et de CE1 basées en France, au Canada et aux États-Unis apprenant le français (FR) ou l'anglais (EN) entre le 1^{er} août et le 26 octobre 2020 sur la plateforme Lalilo. Cette période correspond à un moment où les élèves se trouvaient principalement dans les classes et non à la maison.

Nous n'avons conservé que les traces dans lesquelles les questions d'autorégulation avaient été posées et nous allons, jusqu'à nouvel ordre, appeler trace l'ensemble regroupant les réponses à l'exercice et les réponses associées aux énoncés d'autorégulation.

Nous avons limité les sources potentielles de biais dans nos données en identifiant plusieurs phénomènes pouvant les biaiser, notamment :

- insuffisance de réponses aux énoncés d'autorégulation pour un élève donné ;
- ignorance ou incompréhension des questions par les élèves, ce qui devrait entraîner une tendance à répondre presque au hasard, puisqu'il est impossible de sauter les énoncés d'autorégulation ou de ne pas y répondre.

Pour le premier point, nous avons filtré les élèves ayant eu moins de $N_{min} = 12$ réponses aux énoncés d'autorégulation. En effet, observer des déficits établis nécessite de mesurer suffisamment de données par élève. Ce seuil peut sembler élevé : il est probable qu'un élève présentant 5 fois un même déficit sur des questions puisse être raisonnablement considéré comme présentant ce déficit d'autorégulation. Néanmoins, ce choix conservateur renforce la certitude du diagnostic quand il est posé, et limite donc le nombre de faux positifs.

En ce qui concerne le deuxième point, nous avons supprimé les élèves semblant répondre au hasard. Pour déterminer si une réponse implique une part de hasard, nous considérons que deux combinaisons de réponses sont particulièrement incohérentes (tableau 1). Nous considérons qu'un élève répond potentiellement au hasard si les **deux** combinaisons de réponses incohérentes apparaissent au moins une fois dans ses traces. Là encore, ce choix est conservateur (un élève peut commettre une erreur une fois sans que cela soit significatif d'une tendance à répondre au hasard) et a vocation à limiter le nombre de faux positifs.

Tableau 1 • Labellisation des réponses potentiellement incohérentes

Difficulté perçue	Difficulté voulue
trop facile	plus facile
trop difficile	plus difficile

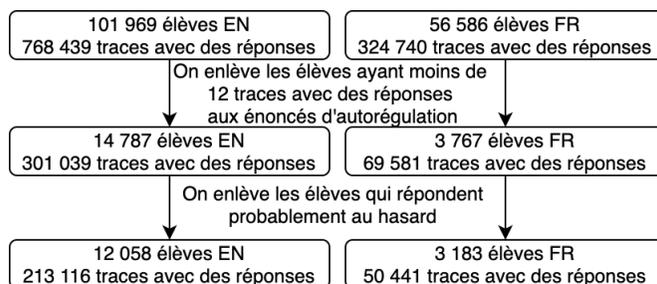


Figure 4 • Filtrage des élèves

L'impact des 2 filtrages est résumé sur la figure 4 : le filtre le plus important est le premier qui divise par 8 en anglais et par 18 en français la taille de l'échantillon initial. Toutefois cela ne signifie pas une incapacité à identifier des déficits chez les élèves exclus par le filtrage. On pourrait en effet :

- soit abaisser le seuil de 12 (élevé, comme susmentionné),
- soit étendre la période de collecte (2 mois actuellement) pour qu'ils aient répondu 12 fois aux 2 questions, ce qui devrait arriver à tout élève utilisant régulièrement Lalilo,
- soit augmenter la fréquence de prompt ($Freq_{autoreg} = 1/15$ actuellement).

3.3. Caractérisation des déficits

Nous rappelons que, dans notre contexte, les traces considérées sont celles produites lorsqu'un exercice (trois à sept questions du même type) est suivi des deux énoncés d'autorégulation. Une trace enregistre donc les réponses à chaque question de l'exercice, ainsi qu'aux deux énoncés d'autorégulation. On peut alors calculer le taux de réussite d'une trace, défini comme le nombre de réponses correctes sur le nombre total de questions de la trace. Comme pour certains types d'exercices, l'élève peut répondre plusieurs fois (parfois avec des indications fournies entre les essais), nous ne prenons en compte que la première réponse pour le calcul du taux de réussite. À partir du taux de réussite, nous pouvons déterminer un libellé de performance d'une trace avec l'une des trois valeurs suivantes :

- Excellente : si la proportion de réponses correctes est supérieure ou égale à un seuil $Perf_+$ que l'on a choisi de fixer ici à 100 % ;
- Mauvaise : si la proportion de réponses correctes est inférieure ou égale à un seuil $Perf_-$ fixé ici à 34 % ;
- Moyenne : si $Perf \in]Perf_-, Perf_+ [$.

Nous avons choisi un seuil de 34 % pour $Perf_-$, de sorte que les traces qui n'ont qu'une seule bonne réponse sur 3 soient considérées comme faibles. En effet, pour un questionnaire à choix unique avec 3 réponses possibles, la probabilité attendue de réussite aux questions est toujours d'au moins $1/3$, ce qui signifie que les élèves ayant un taux de réussite d' $1/3$ ou moins n'obtiennent pas de meilleurs résultats que le hasard. Il convient également de noter que le seuil $Perf_+$ est, ici encore, assez conservateur, car un élève qui a répondu correctement à 6 questions sur 7 pourrait être considéré comme ayant également de très bonnes performances.

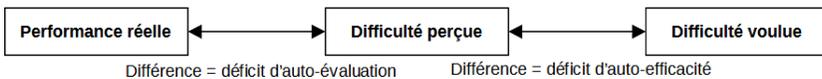


Figure 5 • Caractérisation des déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité

Notre objectif est de comparer la performance réelle d'un élève avec la difficulté qu'il a perçue, puis sa difficulté perçue - qui est une représentation subjective - avec la difficulté qu'il aimerait avoir pour les prochains exercices (figure 5). En effet, la comparaison entre la difficulté souhaitée et la performance réelle peut ne pas être pertinente si les élèves sont biaisés dans leur perception de leur performance réelle ou dans la difficulté de la tâche. À partir de la différence entre leur performance et leur perception de la difficulté, on en déduit un libellé d'auto-évaluation (tableau 2). Ensuite, à partir de la différence entre la difficulté perçue et la difficulté souhaitée, on en déduit un libellé d'auto-efficacité (tableau 3).

Tableau 2 • Libellés d’auto-évaluation

Libellé de performance	Difficulté perçue	Libellé d’auto-évaluation
excellente	trop difficile	sous-évaluation
excellente	bien	légère sous-évaluation
excellente	trop facile	cohérent
mauvaise	trop difficile	cohérent
mauvaise	bien	légère surévaluation
mauvaise	trop facile	surévaluation

Tableau 3 • Libellés d’auto-efficacité

Difficulté perçue	Difficulté voulue	Libellé d’auto-efficacité
trop difficile	plus facile	cohérent
trop difficile	de même niveau	élevé
trop difficile	plus difficile	très élevé
bien	plus facile	faible
bien	de même niveau	cohérent
bien	plus difficile	élevé
trop facile	plus facile	très faible
trop facile	de même niveau	faible
trop facile	plus difficile	cohérent

Dans la perspective d’apporter une remédiation aux déficits présentés, il est nécessaire d’introduire une notion de priorité entre les déficits, car un élève peut avoir un déficit d’auto-évaluation et d’auto-efficacité. On introduit donc un libellé supplémentaire - le libellé de déficit global - dont l’intérêt est d’être orienté vers le feedback à donner (à l’élève ou à l’enseignant). Nous pensons qu’il est d’abord nécessaire de résoudre les éventuels déficits d’auto-évaluation avant de résoudre les déficits d’auto-efficacité. Ainsi, si le libellé d’auto-évaluation de la trace montre un déficit d’auto-évaluation, alors le déficit global de la trace est ce déficit d’auto-évaluation (tableau 4). En effet, nous avons estimé que la difficulté souhaitée n’était pas pertinente si les élèves n’avaient pas une représentation correcte de la difficulté de l’exercice qu’ils venaient de résoudre. Ce choix limite notre intervention à essayer de résoudre un déficit à la fois, plutôt que de s’attaquer à deux déficits potentiels à la fois.

Tableau 4 • Triplets de traces libellés comme ayant un déficit

Libellé de performance	Difficulté perçue	Difficulté voulue	Libellé de déficit global
excellente	trop difficile	toute	sous-évaluation
excellente	bien	toute	légère sous-évaluation
mauvaise	trop facile	toute	surévaluation
mauvaise	bien	toute	légère surévaluation
excellente	trop facile	plus facile	évitant la difficulté
excellente	trop facile	de même niveau	évitant la difficulté
mauvaise	trop difficile	plus difficile	cherchant la difficulté
mauvaise	trop difficile	de même niveau	cherchant la difficulté

S'il n'y a pas de déficit d'auto-évaluation, mais que le libellé d'auto-efficacité montre un certain déficit, alors deux nouveaux libellés peuvent apparaître : « évitant la difficulté » et « recherchant la difficulté ».

Comme nous avons défini la labellisation des traces, nous pouvons maintenant considérer l'ensemble des N traces d'un élève telles que $N \geq N_{min}$. Notre objectif est alors de détecter certaines tendances dans les réponses de l'élève afin de caractériser globalement son profil d'autorégulation de l'apprentissage.

Un algorithme (figure 6) est utilisé pour déterminer si un élève donné sera libellé comme ayant un déficit ou non. Il dépend de deux paramètres : $FrDef_{min}$ la fréquence minimale d'un libellé de déficit dans les traces et $NDef_{min}$ le nombre minimum de traces devant présenter un déficit pour libelliser l'élève avec ce déficit. Ces deux paramètres sont nécessaires pour caractériser uniquement les élèves ayant un déficit marqué ($FrDef_{min}$) et limiter les faux positifs qui auraient le déficit dans leurs traces par hasard ($NDef_{min}$).

```

FrDefmin: fréquence minimale du déficit
NDefmin: nombre minimum d'occurrences du déficit
Result : élèveADéficit // liste des déficits de l'élève, le cas échéant
for déficit in déficits do
    | nbTracesAyantUnDéficit = compter(libellésDeTrace.contenant(déficit));
    | if déficit in [sous-évaluation, évitant la difficulté] then
    |   | déficitRatio = nbTracesAyantUnDéficit / nbExcellentesPerformances;
    | else if déficit in [sur-évaluation, cherchant la difficulté] then
    |   | déficitRatio = nbTracesAyantUnDéficit / nbFaiblesPerformances;
    | if déficitRatio ≥ FrDefmin and nbTracesAyantUnDéficit ≥ NDefmin
    |   then
    |     | élèveADéficit.ajouter(déficit)
return élèveADéficit
    
```

Figure 6 • Algorithme de détection des déficits

Sur la base du nombre de libellés de déficit d'autorégulation d'un élève (tableau 4) et du nombre de performances faibles et excellentes de l'élève, le **déficitRatio** est le rapport entre le nombre de réponses labellisées comme ayant un déficit et le nombre de performances associées : « surévaluation » et « cherchant la difficulté » sont liées à de mauvaises performances tandis que « sous-évaluation » et « éviter la difficulté » sont liées à d'excellentes performances.

Nous avons choisi les seuils du **déficitRatio** pour qu'un déficit soit considéré présent lorsque sa fréquence est supérieure à 50 % avec au moins deux occurrences du déficit c'est-à-dire $NDef_{min} = 2$ et $FrDef_{min} = 50\%$. Ces valeurs sont bien supérieures au choix aléatoire qui est de 33 % (puisque trois réponses sont proposées sur chaque énoncé) et nous voulions exclure les erreurs ponctuelles des élèves.

3.4. Résultats

Le tableau 5 résume nos résultats. Nous rappelons que le choix de nos différents seuils ($Perf_+ = 100\%$, $Perf_- = 34\%$, $NDef_{min} = 2$ et $FrDef_{min} = 50\%$) est assez conservateur, de sorte que nous détectons probablement moins de déficits qu'il n'y en a en réalité. Nous avons défini deux possibilités de calcul des déficits de surévaluation et de sous-évaluation. Pour le calcul de la première valeur de ces déficits dans le tableau, seules les traces marquées comme « surévaluation » et « sous-évaluation » dans le tableau 4 sont incluses; tandis que pour la valeur entre parenthèses, les traces marquées comme « légère sous-évaluation » et « légère surévaluation » sont également incluses. Cela nous permet d'avoir une estimation des limites inférieure et supérieure pour chacun de ces deux déficits. Les trois déficits les plus fréquents correspondent à trois des quatre déficits définis dans la section 3.3 : « surévaluation », « évitant la difficulté » et « sous-évaluation ». L'ordre entre les trois varie si l'on tient compte des libellés « légère surévaluation » et « légère sous-évaluation ». En effet, la limite supérieure de la prévalence de la sous-évaluation est supérieure à 25 % pour les élèves francophones (FR) et anglophones (EN), ce qui suggère qu'un nombre important d'élèves se sous-évaluent dans une certaine mesure. Le quatrième schéma le plus fréquemment détecté concerne les élèves qui présentent à la fois des déficits de « évitant la difficulté » et de « surévaluation ». Bien que contradictoires à première vue, en regardant les triplets de traces associés à ces deux déficits dans le tableau 4, on remarque qu'ils sont associés à une difficulté perçue « trop facile ». Nous supposons donc que les élèves labellisés comme ayant ces deux déficits ne comprennent pas correctement les énoncés d'autorégulation, mais cliquent toujours sur « trop facile »; de même, pour le sixième déficit le plus fréquemment détecté (« cherchant la difficulté - sous-évaluation »), où nous supposons que ces élèves cliquent toujours sur « trop difficile ».

Tableau 5 • Pourcentage global d'élèves ayant un ou plusieurs déficits (un élève ne pouvant appartenir qu'à une seule ligne)

Déficit(s)	EN % (12 058 élèves)	FR % (3 183 élèves)
pas de déficit détecté	72,1 % (42,5 %)	63,1 % (38,4 %)
surévaluation	8,9 % (10,2 %)	9,8 % (13,6 %)
évitant la difficulté	8,6 %	12,4 %
sous-évaluation	5,2 % (32,6 %)	5,3 % (26,2 %)
évitant la difficulté - surévaluation	3,6 %	4,4 %
cherchant la difficulté	1,6 %	3,2 %
cherchant la difficulté - sous-évaluation	0,5 %	1,0 %
autres combinaisons	0,4 %	0,8 %

Enfin, les *autres combinaisons* de déficits dans la dernière ligne du tableau 5 représentent très peu d'élèves. Les triplets de réponses associés forment des combinaisons incohérentes, ce qui pourrait correspondre à des élèves répondant de manière aléatoire, mais non éliminés par le filtrage initial.

L'ordre de prévalence des déficits est assez similaire chez les élèves FR et EN. La fréquence des réponses « évitant la difficulté » et « cherchant la difficulté » est plus élevée chez les élèves FR. Cela pourrait indiquer que les élèves FR et EN ont des capacités d'auto-évaluation comparables, mais que les élèves FR ont plus de difficultés à se positionner par rapport à la difficulté attendue. Bien que ce résultat puisse être lié à des approches pédagogiques différentes, nous restons prudents, car il pourrait y avoir des biais liés aux différences de didactique des langues (la structure didactique de la version française du logiciel a été conçue par des experts français et la structure didactique de la version anglaise a été conçue par des experts américains, ce qui peut conduire à une utilisation différente du logiciel) et au profil des utilisateurs (âge, fréquence d'utilisation, proportion d'élèves à besoins particuliers, nombre d'élèves par classe, maîtrise des outils informatiques) selon la langue utilisée.

Ces résultats montrent la possibilité de détecter de manière fiable des déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité chez de jeunes élèves, répondant ainsi à la question de recherche 1 (comment mesurer les capacités d'auto-évaluation et d'auto-efficacité des jeunes élèves qui apprennent avec une application informatique ?).

De plus, ils permettent d'établir une estimation de la fréquence de ces différents phénomènes, répondant ainsi à la question de recherche 2 (les déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité sont-ils des problèmes courants pour les jeunes élèves qui apprennent à lire ?). Les fréquences relativement importantes détectées - bien que les fréquences réelles puissent différer, du fait du filtrage important pour les

traces qui ont été traitées - suggèrent qu'il serait nécessaire d'essayer de remédier à ces déficits, validant ainsi l'intérêt des questions de recherche 3 et 4.

3.5. Discussion et limites

Pendant un exercice, un élève répond à des questions de niveaux similaires et proches temporellement (une minute en moyenne par exercice), chaque exercice possédant une consigne qui est énoncée oralement avant un groupe de questions. Lorsque l'on donne l'énoncé de difficulté perçue à l'issue d'un exercice, un élève répond à la question « quelle était la difficulté de cet exercice pour toi ? » en fonction de sa représentation de la difficulté de l'exercice et donne ainsi une indication sur sa capacité à s'autoévaluer. Ainsi, le « libellé d'auto-évaluation » porte bien un nom correspondant à ce qu'il est censé caractériser. En revanche, le « libellé d'auto-efficacité » porte un nom nécessitant une justification. En effet, Masson et Fenouillet (2013) ont conçu une échelle (figure 7) pour mesurer le sentiment d'efficacité personnelle chez des élèves de CM2 (10-11 ans). Elle se présente sous la forme d'une échelle de Likert contenant des affirmations pour lesquelles les élèves doivent exprimer dans quelle mesure ils sont d'accord (de « pas du tout vrai » à « totalement vrai ») et ce avec six niveaux de réponse.

-
- SEP Gén 1 - J'ai des bonnes notes à l'école.
 - SEP Gén 2 - Le travail à l'école n'est pas très difficile.
 - SEP Gén 3 - Comme je suis bon(ne) à l'école, je peux résoudre tous les exercices que l'on me pose.
 - SEP Gén 4 - Lorsque j'ai un problème dans un exercice, je me débrouille toujours pour trouver la solution.
 - SEP Gén 5 - Même si c'est très difficile, j'essaie plusieurs fois d'y arriver.
 - SEP Gén 6 - Si l'exercice est très difficile, je cherche un moyen pour réussir quand même à trouver la solution
 - SEP fr1 - J'arrive toujours à finir mes exercices de français.
 - SEP fr2 - J'arrive à me concentrer sur mes exercices de français à l'école.
 - SEP fr3 - Je comprends les exercices de français.
 - SEP fr4 - J'arrive à me motiver pour faire mes exercices de français.
 - SEP fr5 - Je suis capable de m'organiser pour faire mes exercices de français en classe.
 - SEP fr6 - Je suis capable d'écrire mes leçons de français tout seul.
 - SEP1 maths - J'arrive toujours à finir mes exercices de maths.
 - SEP2 maths - J'arrive à me concentrer sur mes exercices de maths à l'école.
 - SEP3 maths - Je comprends les exercices de mon fichier de maths.
 - SEP4 maths - J'arrive à me motiver pour faire mes exercices de maths.
 - SEP5 maths - Je suis capable de m'organiser pour faire mes exercices de maths en classe.
-

Figure 7 • Échelle du sentiment d'efficacité personnelle (SEP) scolaire (Masson et Fenouillet, 2013)

Les auteurs montrent que le SEP est différent selon le contexte (mathématique, français ou général) et que les réponses à ce questionnaire sont relativement corrélées à la performance réelle des élèves. La question posée dans le logiciel « Tu voudrais des exercices... plus faciles, de même niveau, plus difficiles » est indirectement liée à la capacité de l'élève à vouloir les résoudre, là où l'échelle proposée par (Masson et Fenouillet, 2013) demande à l'élève d'exprimer

explicitement son accord ou non avec des affirmations telles que « Même si c'est très difficile, j'essaie plusieurs fois d'y arriver ». La question de difficulté voulue ne porte pas directement sur cette capacité et l'élève pourrait cocher « plus difficiles » pour voir d'autres types d'exercices. Plusieurs critères rentraient en jeu pour le choix de la question de difficulté perçue :

- l'intelligibilité pour des enfants de 5 à 7 ans,
- l'intégration dans un EIAH,
- le temps passé à répondre aux questions d'AAR par rapport aux exercices de lecture.

L'intégration dans un EIAH pour des enfants aussi jeunes nous a conduits à simplifier au maximum les questions et à avoir trois réponses possibles. Dans ce travail, nous avons fait l'hypothèse que la répétition de certains motifs de performance et de réponses aux énoncés d'AAR nous permet de caractériser des déficits d'autorégulation corrélés au SEP. Une perspective de ce travail est une vérification externe de cette corrélation en comparant le SEP mesuré de manière externe au profil établi dans un EIAH *via* les questions de difficulté voulue et perçue.

Notre premier objectif était de vérifier la capacité à proposer une méthode permettant à un logiciel d'estimer des déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité. Comme toute intervention, celle proposée peut influencer les performances des élèves et leurs compétences réelles d'autorégulation. Une première limite est donc liée au compromis nécessaire entre la valeur du seuil *Freq_{autoreg}*, fréquence des mesures, et l'impact potentiel des mesures sur l'autorégulation des élèves. L'équilibre trouvé ici garantit qu'en général, un élève ne devrait pas recevoir plus d'un énoncé par session d'apprentissage, mais nous n'avons pas évalué une éventuelle « fatigue de l'énoncé » qui peut conduire à des réponses peu fiables.

Nous nous sommes intéressés à l'auto-évaluation et l'auto-efficacité, d'une part car elles ont rarement été étudiées dans le contexte informatique pour des élèves aussi jeunes et, d'autre part, parce qu'il était possible de le faire techniquement avec Lalilo grâce au nombre important d'utilisateurs. D'autres aspects liés à l'autorégulation, comme la planification, supposent une maîtrise par l'élève des compétences à travailler (ce qui n'est pas le cas dans ce logiciel d'apprentissage de la lecture qui guide l'élève avec un algorithme d'apprentissage adaptatif). Nous détectons des réponses aléatoires *via* des filtres de préanalyse afin d'avoir des fréquences de déficit aussi proches que possible de la réalité. Cependant, nous avons pu observer *a posteriori* que des élèves ayant probablement répondu au hasard sont encore présents (tableau 5) et ont donc pu affecter la distribution des déficits des élèves. Nous avons également obtenu des déficits inattendus (répétition de réponses « trop facile » ou « trop difficile » à la difficulté perçue) : des analyses supplémentaires seraient nécessaires avant de classer les élèves dans une catégorie, si une intervention automatique ou semi-automatique était ensuite déclenchée sur la base de ce classement.

Une limite potentielle de ce travail est liée à la valeur des seuils. Dans notre méthode, nous avons identifié cinq paramètres (N_{min} , $Perf_+$, $Perf$, $FrDef_{min}$ et $NDef_{min}$) qui correspondent à différentes valeurs seuils. Nous avons essayé différents seuils pour le marquage des élèves sans impact sur la fréquence relative des déficits, bien qu'elle varie en valeur absolue (résultats non reportés ici). Les seuils choisis sont une fréquence du déficit minimale de 50 % et un nombre minimum d'occurrences de 2. Une adaptation précise des seuils devra garantir la sensibilité et la spécificité des déficits détectés, ainsi que le marquage des seuls déficits les plus saillants pour ne pas surcharger le tableau de bord de l'enseignant.

Bien que l'état de l'art le mentionne, nous n'avons pas mobilisé la possibilité d'ajouter un tableau de bord. En effet, ici on s'intéresse uniquement à la mesure, alors qu'un tableau de bord serait surtout adapté à la remédiation. De plus, les traces d'un élève liées à son autorégulation sur un tableau de bord se heurtent à une forte difficulté d'interprétation, surtout chez de jeunes enfants. Nous essayons ici d'avoir une méthode de mesure des déficits la plus objective possible.

3.6. Généralisation de la méthode

Les sections précédentes ont présenté une méthode permettant de mesurer chez un élève la présence de déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité. On peut généraliser cette méthode à tout EIAH en introduisant des questions portant sur l'autorégulation de l'apprentissage adaptées à l'âge de l'élève (Molenaar *et al.*, 2020).

La figure 8 représente le potentiel diagramme de séquence dans un tel EIAH. Celui d'un élève cliquant sur « jouer » dans Lalilo est le même excepté la partie en orange, car le modèle de recommandation des exercices dans Lalilo n'utilise pas encore les réponses aux questions d'AAR. Après que l'élève a répondu aux exercices liés au domaine d'apprentissage, un modèle détermine la pertinence de donner des questions liées à l'AAR en fonction de ses réponses à l'exercice et de ses réponses précédentes aux questions d'AAR. Si la liste de questions retournées n'est pas vide, celles-ci sont données à l'élève. En fonction des réponses à ces nouvelles questions et du profil passé d'AAR, le modèle détermine la rétroaction liée à l'AAR à donner.

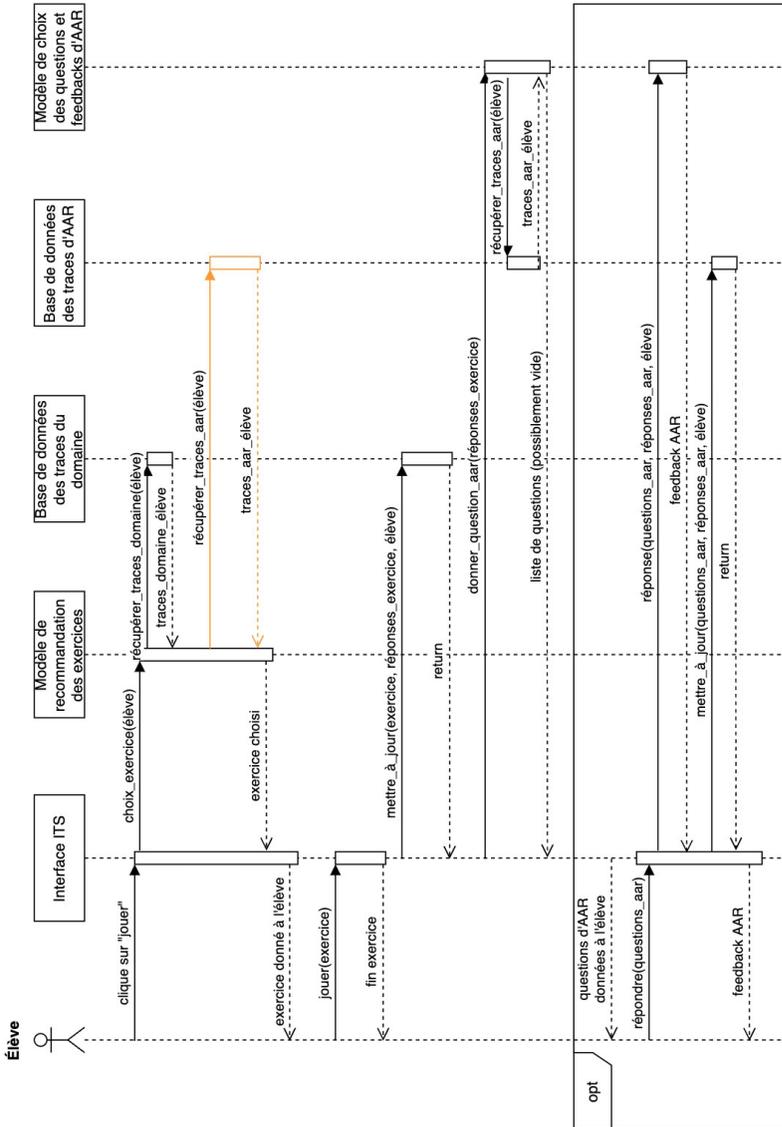


Figure 8 • Diagramme de séquence envisageable pour un EIAH souhaitant ajouter des questions d’AAR et utiliser le profil d’AAR pour la recommandation des exercices

4. Étayage et remédiation des déficits

Dans cette seconde étude, on ne vise plus seulement à mesurer, mais à tenter de corriger certains déficits identifiés, tout d’abord à l’aide d’étayage de type indice (*hint*) via une jauge ou un enregistrement audio (section 4.2), puis d’une rétroaction via un message audio donné après la réponse aux énoncés d’autorégulation (section 4.3).

4.1. Collecte des données

Dans les deux cas, nous travaillons sur un nouvel ensemble de traces provenant de classes de maternelle, de CP et de CE1 basées en France, au Canada et aux États-Unis apprenant en français (FR) ou en anglais (EN) entre le 18 janvier et le 8 avril 2021 sur la plateforme Lalilo.

Nous n'avons conservé que les traces pour lesquelles les élèves avaient répondu aux énoncés d'autorégulation (soit en moyenne 1/15e de toutes les traces) et nous appelons ci-après « traces » les réponses à l'exercice avec les réponses associées aux énoncés d'autorégulation.

4.2. Impact d'une jauge ou d'un enregistrement audio pendant la réponse aux questions d'auto-évaluation

4.2.1. Méthodes

Pour répondre à notre troisième question de recherche sur la façon dont l'étayage peut aider les élèves présentant des déficits d'auto-évaluation, nous nous sommes concentrés sur les déficits impliquant uniquement l'auto-évaluation, c'est-à-dire uniquement les quatre premières lignes du tableau 4. Afin de mesurer l'impact des indices visuels sur les réponses à l'énoncé de difficulté perçue (énoncé d'auto-évaluation), les élèves ont reçu au hasard l'un des deux visuels pour les énoncés : un visuel similaire aux énoncés initiaux (figure 9 gauche) et un autre avec une jauge supplémentaire affichant le nombre de réponses correctes et incorrectes dans l'exercice précédent (figure 9 droite). Il n'y a donc pas ici de groupe de contrôle puisqu'un même élève pouvait parfois voir la jauge et parfois non.

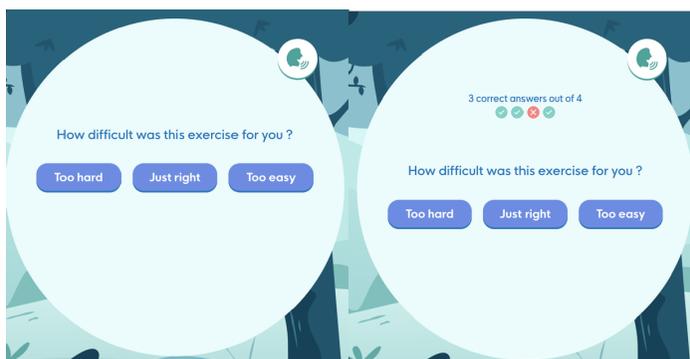


Figure 9 • Énoncés d'auto-évaluation sans et avec étayage visuel

En outre, afin de mesurer l'impact des indices auditifs, les élèves ont reçu de manière aléatoire un enregistrement audio indiquant leur nombre de réponses correctes et le nombre total de réponses dans leur dernier exercice : par exemple, « Dans le dernier exercice, tu as eu trois bonnes réponses sur quatre questions ». Cette phrase est lue au lieu d'être affichée, parce que les jeunes élèves peuvent ne pas être capables de bien la lire. Pour la même raison, chaque texte affiché sur les captures

d'écran est également lu à haute voix à l'élève, et il peut demander à réentendre la question en utilisant le bouton en haut à droite. Le choix de modalités alternatives est donc uniquement dû au public particulier (jeunes lecteurs qui ne sont pas nécessairement encore totalement autonomes), et non à une hypothèse sur les styles d'apprentissage qui sont qualifiés de neuromythe par un certain nombre de chercheurs (Newton, 2015).

Dans l'ensemble, lorsqu'un élève recevait un message d'auto-évaluation, il était assigné au hasard dans l'une des quatre conditions suivantes : (a) pas de jauge et pas d'enregistrement audio (condition de contrôle), (b) jauge et pas d'enregistrement audio, (c) pas de jauge mais enregistrement audio, (d) jauge et enregistrement audio.

Ces indices visuels et audios peuvent être vus par les élèves à la fois comme une rétroaction suite à leur performance aux questions de lecture et comme un étayage de type « indice » pour les aider à répondre aux questions d'autorégulation. Nous avons choisi le terme d'étayage de type indice, car nous nous plaçons dans la perspective de la réponse à ces questions d'autorégulation et non de la réponse aux exercices de lecture.

Notre hypothèse était que les étayages visuels ou audios pouvaient soutenir plus ou moins efficacement l'auto-évaluation des élèves.

4.2.2. Résultats

Nous avons utilisé le logiciel JASP pour nos analyses statistiques (JASP Team, 2022). Comme nous comparions des fréquences d'apparition d'un comportement dans deux versions différentes, nous avons utilisé le module d'A/B test bayésien décrit dans Gronau *et al.* (2020) avec ses valeurs par défaut. En effet, la mauvaise interprétation de *p-values* peut conduire à de mauvaises décisions (Robinson, 2019). Dans la présentation des résultats nous utilisons la probabilité *a posteriori* de l'hypothèse, sachant les données. Par exemple dans cet article, $P(\text{augmentation}|\text{données}) > 0,999$ signifie que la probabilité *a posteriori* que la modalité augmente la fréquence d'un événement, sachant les données, est supérieure à 99,9 %.

Dans cette expérience, nous n'avons conservé que la première réponse des élèves au questionnaire d'auto-évaluation, afin que nos données ne soient pas biaisées par les élèves répondant de manière répétée à l'énoncé d'auto-évaluation et disposant ou non d'un support visuel ou audio. Cela nous permet également d'isoler l'effet de la jauge et de l'enregistrement audio seuls. Nous avons ensuite calculé la distribution du déficit de réponse à l'aide du tableau 4 en fonction de la présence de la jauge et de l'enregistrement audio. Les résultats sont résumés dans les figures 10 et 11. Dans la figure 10 on regarde l'impact de la présence de jauge (b + d vs a + c), et dans la figure 11 on regarde l'impact de la présence de l'audio (c + d vs a + b). Pour chaque figure, le diagramme de gauche concerne les excellentes performances et le diagramme de droite les mauvaises performances.

La figure 10 gauche montre qu'il y a une différence dans la distribution du déficit de réponse selon qu'il y a un étayage visuel ou non : les élèves ayant une excellente performance et ayant une jauge comme support visuel sont moins susceptibles de montrer une sous-évaluation. La réduction absolue (RA) du nombre d'élèves montrant une sous-évaluation est de 0,6 %, soit une réduction relative (RR) de 8 % ($P(\text{réduction}|\text{données}) > 0,999$). Bien que la réduction absolue soit très faible, le nombre de traces (plus de 270 000) et le faible pourcentage initial de sous-évaluation fait que cette réduction permet d'affirmer que la jauge conduit très probablement à moins de sous-évaluation par les élèves ayant une mauvaise performance.

La figure 10 droite montre qu'il existe des différences dans la distribution du déficit de réponse lorsqu'il y a une jauge pour les mauvaises performances. La réduction absolue (RA) du nombre d'élèves montrant une surévaluation, est de 2 %, soit une réduction relative (RR) de 8 % ($P(\text{réduction}|\text{données}) > 0,999$). La jauge conduit très probablement à moins de surévaluation par les élèves ayant une mauvaise performance.

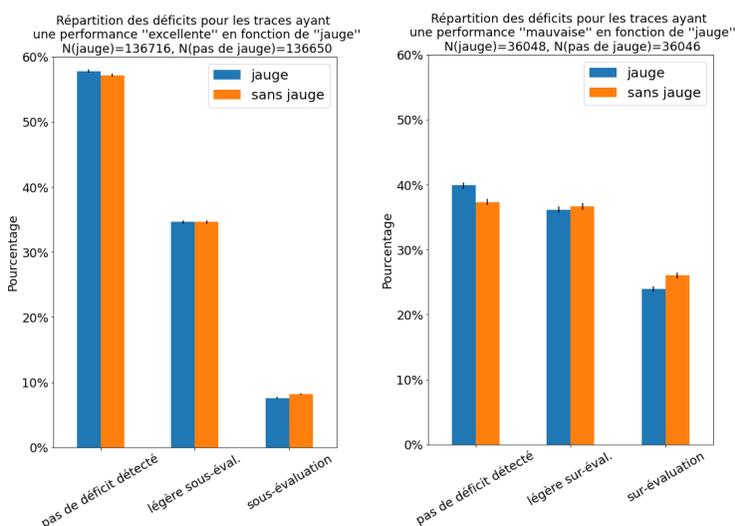


Figure 10 • Distribution du déficit d'auto-évaluation en fonction de la présence d'un étayage visuel suite à une excellente performance (gauche) ou une mauvaise performance (droite), intervalle de confiance à 95 %

Nous pouvons noter que le pourcentage de traces présentant un déficit est beaucoup plus élevé pour les énoncés suivant des traces de mauvaises performances que pour les énoncés suivant des traces d'excellentes performances (63 %, voir figure 10 droite, contre 33 %, voir figure 10 gauche). Ceci est cohérent avec le fait que les élèves ayant obtenu une excellente performance sont plus susceptibles de s'autoévaluer correctement. De plus, la réduction relative du nombre de traces présentant un déficit est indépendante de la performance, environ 8 %.

La figure 11 gauche montre qu'il y a une différence dans la distribution du déficit de réponse selon qu'il y a un étayage auditif ou non : les élèves ayant une excellente performance et ayant un enregistrement du nombre de réponses sont **plus** susceptibles de montrer une sous-évaluation. L'augmentation absolue (AA) du nombre d'élèves montrant une sous-évaluation est de 0,4 %, soit une augmentation relative (AR) de 5 % ($P(\text{augmentation}|\text{données}) > 0,999$). Bien que l'augmentation absolue soit très faible, le nombre de traces (plus de 270 000) et le faible pourcentage initial de sous-évaluation permet d'affirmer que l'invite audio conduit très probablement à **plus** de sous-évaluation par les élèves ayant une mauvaise performance.

La figure 11 droite montre qu'il existe des différences dans la distribution du déficit de réponse lorsqu'il y a un étayage auditif après une mauvaise performance. La réduction absolue (RA) du nombre d'élèves montrant une surévaluation est de 1,5 %, soit une réduction relative (RR) de 6 % ($P(\text{réduction}|\text{données}) > 0,999$). L'invite audio conduit très probablement à moins de surévaluation par les élèves ayant une mauvaise performance.

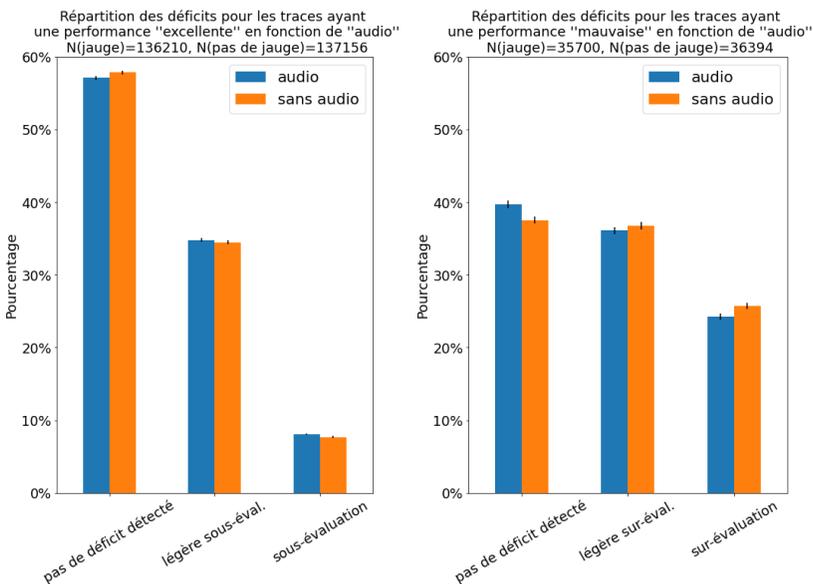


Figure 11 • Distribution du déficit d'auto-évaluation en fonction de la présence d'un étayage auditif suite à une excellente performance (gauche) ou une mauvaise performance (droite), intervalle de confiance à 95 %

Comme l'impact de la jauge semble positif pour les traces d'excellente ou de mauvaise performance, alors que l'impact de l'audio semble dépendre de la performance, nous avons mesuré l'impact de la présence ou non de l'audio lorsqu'il y avait une jauge pour soutenir l'auto-évaluation de l'élève (condition c vs b). Les résultats sont résumés dans la figure 12. Ils indiquent que le fait de disposer d'un enregistrement audio indiquant le nombre de bonnes réponses par rapport au nombre total de questions (par exemple, « Dans le dernier exercice, tu as trouvé trois bonnes réponses sur quatre questions ») a très probablement un impact sur la diminution du nombre d'élèves qui se surévaluent lorsque la performance de l'élève est mauvaise dans le dernier exercice : la réduction absolue du nombre d'élèves montrant une surévaluation est de 1,7 %, soit une réduction relative de 7 % ($P(\text{réduction}|\text{données}) > 0,999$). En revanche, il y a très probablement un impact sur l'augmentation du nombre d'élèves se sous-évaluant lorsque leur performance est excellente : l'augmentation absolue du nombre d'élèves montrant une sous-évaluation est de 0,4 %, soit une augmentation relative de 5 % ($P(\text{augmentation}|\text{données}) > 0,999$).

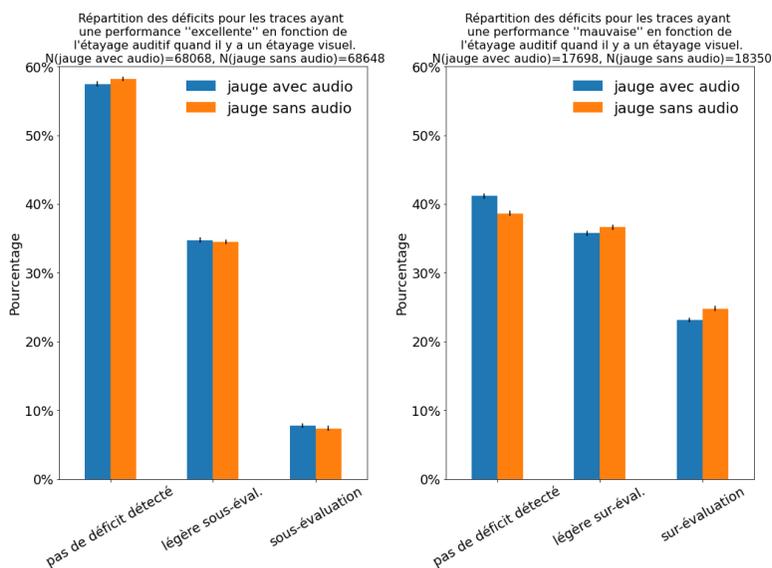


Figure 12 • Impact de l'étayage visuel et auditif sur les déficits de sous-évaluation et de surévaluation

Dans l'ensemble, nous pouvons donc répondre positivement à la question de recherche 3 puisque les étayages visuels fournis semblent avoir aidé les élèves à réduire leurs déficits d'auto-évaluation. En revanche, les étayages auditifs ont eu un impact mitigé : positif pour les élèves ayant une mauvaise performance et négatif pour les élèves ayant une excellente performance. On peut noter que l'étayage visuel est instantané, car il est affiché à l'élève, alors que l'enregistrement audio a une temporalité : pendant quelques secondes, l'élève entend son nombre de bonnes

et mauvaises réponses. L'enregistrement audio pourrait permettre à un élève potentiellement distrait de se concentrer à nouveau après une mauvaise performance. Inversement, il pourrait distraire un élève qui était concentré après une excellente performance. L'étayage visuel a un coût en temps quasi nul pour les élèves et permet une réduction d'entre 5 et 8 % du nombre de déficits, c'est pourquoi nous avons décidé à l'issue de cette étude de l'utiliser pour l'intégralité des élèves et des réponses.

4.3. Impact d'une rétroaction audio de remédiation sur les déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité

4.3.1. Méthodes

Pour répondre à notre quatrième question de recherche, nous avons conçu quatre enregistrements possibles de rétroaction de remédiation (tableau 6) à écouter après que l'élève a montré l'un des quatre déficits du tableau 4. Les élèves qui ont présenté une légère surévaluation ou une légère sous-évaluation n'ont pas reçu de rétroaction de remédiation.

Dans cette expérimentation, la moitié des élèves reçoit toujours une remédiation lorsqu'ils présentent une auto-évaluation ou un déficit d'auto-efficacité (groupe de remédiation) et l'autre moitié n'en reçoit jamais (groupe témoin).

Tableau 6 • Les quatre rétroactions audio de remédiation

Libellé de déficit	Enregistrement audio
sous-évaluation	Tu as dit que c'était trop difficile alors que tu as très bien réussi. L'exercice était probablement trop facile pour toi.
surévaluation	Tu as dit que c'était trop facile alors que tu n'as pas très bien réussi. L'exercice était probablement trop difficile pour toi.
évitant la difficulté	Tu as dit que c'était trop facile, mais pourtant tu as dit vouloir des exercices plus faciles. Il faudrait plutôt des exercices plus difficiles, car tu as raison les exercices étaient en effet trop faciles.
cherchant la difficulté	Tu as dit que c'était trop difficile, mais pourtant tu as dit vouloir des exercices plus difficiles. Il faudrait plutôt des exercices plus faciles pour le moment, car tu as raison les exercices étaient en effet trop difficiles.

4.3.2. Résultats

4.3.2.1. Impact de la remédiation de la sous-évaluation

Afin de mesurer l'impact de la remédiation de la sous-évaluation, nous avons sélectionné les traces avec une excellente performance pour les élèves du groupe de contrôle et du groupe de remédiation. Dans ces traces, nous avons sélectionné les

élèves dont la première trace avec une excellente performance présentait une sous-évaluation (voir tableau 4 pour la définition des déficits).

Nous avons ensuite calculé la distribution des déficits sur leur trace suivante avec une excellente performance où ils ont eu une question d’auto-évaluation. Les résultats pour les deux groupes sont présentés dans la figure 13 (à gauche). Nous rappelons que tous les élèves ont montré un déficit de sous-évaluation dans leur première réponse à l’énoncé d’auto-évaluation. Nous remarquons que le nombre d’élèves montrant *à nouveau* une sous-évaluation est plus faible pour les élèves du groupe de remédiation que pour les élèves du groupe contrôle (RA = 6,6 %, RR = 20 %, $P(\text{réduction}|\text{données}) > 0,999$). À l’inverse, il y a plus d’élèves pour lesquels nous ne détectons aucun déficit (AA = 4,3 %, AR = 12 %, $P(\text{augmentation}|\text{données}) > 0,999$). Il y a aussi plus d’élèves pour lesquels nous avons détecté une légère sous-évaluation (AA = 2,3 %, AR = 7 %, $P(\text{augmentation}|\text{données}) > 0,999$), ce qui correspond aux élèves pour lesquels le déficit n’a été que partiellement traité (en effet, les élèves avec une légère sous-évaluation n’ont pas reçu de feedback, il n’y a donc aucune raison de s’attendre à un changement).

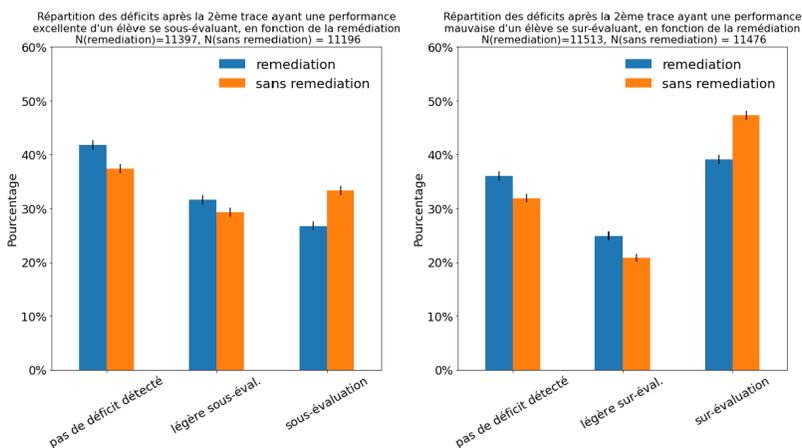


Figure 13 • Impact des remédiations auditives sur les déficits de sous-évaluation et de surévaluation

4.3.2.2. Impact de la remédiation de la surévaluation

Nous avons effectué la même analyse pour mesurer l’impact de la remédiation de la surévaluation. Dans ces traces, nous avons sélectionné les élèves des deux groupes dont la première trace avec une mauvaise performance montrait une surévaluation. Nous avons ensuite calculé la distribution des déficits sur leur trace suivante avec une mauvaise performance où ils ont eu une nouvelle question d’auto-évaluation. Les résultats pour les deux groupes sont présentés dans la figure 13 (à droite). Nous remarquons que le nombre d’élèves montrant *à nouveau* une surévaluation est plus faible pour les élèves du groupe de remédiation que pour

les élèves du groupe contrôle (RA = 8,2 %, RR = 17 %, $P(\text{réduction}|\text{données}) > 0,999$). À l'inverse, il y a plus d'élèves pour lesquels nous ne détectons aucun déficit (AA = 4,1 %, AR = 13 %, $P(\text{augmentation}|\text{données}) > 0,999$). De même, il y a plus d'élèves pour lesquels nous détectons une « légère surévaluation », ce qui signifie qu'ils ont eu une mauvaise performance, mais ont déclaré que la difficulté de l'exercice qu'ils ont obtenu était adaptée (AA = 4,1 %, AR = 20 %, $P(\text{augmentation}|\text{données}) > 0,999$). Nous pouvons supposer qu'il s'agit d'élèves qui peuvent se sentir proches de la réussite à cet exercice, même si leur performance actuelle n'est pas encore bonne. Par exemple, un élève qui a eu 3 questions dans le dernier exercice et qui a obtenu deux mauvaises réponses puis une bonne réponse peut penser que la difficulté est adaptée (« bien »), car sa dernière réponse était correcte, bien que sa performance soit considérée comme « mauvaise ».

4.3.2.3. Impact de la remédiation du déficit « évitant la difficulté »

Nous avons effectué une analyse similaire pour mesurer l'impact de la remédiation pour les élèves cherchant à éviter les difficultés. Nous avons sélectionné dans les deux groupes les traces avec une excellente performance et dans ces traces, nous avons sélectionné les élèves dont la première trace avec une excellente performance montrait qu'ils voulaient éviter la difficulté. Nous avons ensuite calculé la distribution du déficit de réponse sur leur trace suivante avec une excellente performance où ils ont obtenu les énoncés d'autorégulation de l'apprentissage. Les résultats sont présentés dans la figure 14 (à gauche). Nous pouvons remarquer que le nombre d'élèves détectés comme voulant éviter la difficulté diminue lorsqu'ils bénéficient d'une remédiation (RA = 11,1 %, RR = 33 %, $P(\text{réduction}|\text{données}) > 0,999$). Cependant, nous détectons également une augmentation du nombre d'élèves montrant une certaine sous-évaluation. Ce point sera abordé dans la section Discussion.

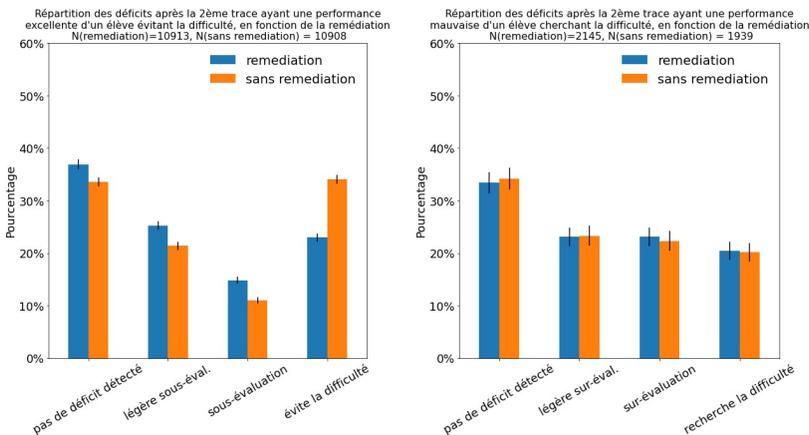


Figure 14 • Impact des remédiations auditives sur les déficits « évitant la difficulté » et « cherchant la difficulté »

4.3.2.4. Impact de la remédiation du déficit « cherchant la difficulté »

Enfin, nous avons effectué une analyse similaire pour mesurer l'impact de la remédiation pour les élèves cherchant la difficulté. Dans les deux groupes, nous avons sélectionné les traces présentant une performance « mauvaise » et, dans ces traces, nous avons sélectionné les élèves dont la première trace montrait qu'ils voulaient rechercher la difficulté (tableau 4). Nous avons ensuite calculé la distribution des déficits sur la trace suivante où les énoncés d'autorégulation ont été donnés. Les résultats sont présentés dans la figure 14 (à droite). Nous pouvons observer qu'il n'y a pas de différence suffisante entre la distribution des réponses du groupe de remédiation et la distribution des réponses du groupe de contrôle, nous ne pouvons donc pas conclure que la remédiation de la recherche de difficulté que nous avons conçue a eu un quelconque effet.

Globalement, grâce à la remédiation, il y a une réduction du nombre d'élèves montrant une surévaluation ou une sous-évaluation. Comme nous n'effectuons l'analyse que sur la deuxième trace avec une performance similaire et que les élèves ont été placés aléatoirement dans l'une des deux conditions possibles, nous pouvons déduire une relation causale entre la présence ou non de la remédiation et la différence dans la distribution des réponses à l'invite d'auto-évaluation. De plus, comme les énoncés d'autorégulation ne sont donnés avec une probabilité 1/15 qu'après avoir terminé un exercice, l'impact d'une remédiation n'est pas vu immédiatement après qu'elle a été donnée, ce qui suggère des effets durables de la remédiation. Nous pouvons donc répondre partiellement positivement à la quatrième question de recherche sur l'effet de la remédiation donnée à l'élève.

4.4. Discussion et limites

La façon la plus fiable d'évaluer les déficits d'autorégulation de l'apprentissage est de poser des questions directes aux étudiants (Barnard *et al.*, 2009). Notons qu'actuellement la fréquence des énoncés d'autorégulation de l'apprentissage est d'un tous les 15 exercices. D'une part, l'augmentation de la fréquence de la remédiation pourrait améliorer les compétences d'autorégulation de l'apprentissage, cependant, le fait d'être constamment sollicité peut conduire à une perception globale dégradée de l'environnement d'apprentissage (Bouchet *et al.*, 2018). La formation aux compétences d'autorégulation de l'apprentissage ne doit en effet pas se faire au détriment de la formation à l'alphabétisation qui reste l'objectif principal du logiciel. D'autre part, une fois que nous sommes en mesure de détecter qu'un élève possède de bonnes compétences en matière d'auto-évaluation et d'auto-efficacité, nous pourrions envisager de réduire la fréquence des énoncés, précisément pour ne pas perdre de temps inutilement, ouvrant ainsi la voie à du sondage adaptatif (*adaptive polling*). Inversement, la fréquence pourrait être augmentée sur les cas pour lesquels un déficit a été précédemment observé mais pas encore corrigé : la fréquence globale resterait donc en moyenne d'un tous les 15 exercices mais en privilégiant les cas les plus pertinents pour chaque élève.

Les résultats de notre deuxième expérience ont montré que les déficits d'auto-efficacité (éviter la difficulté et recherche de la difficulté) ne sont pas idéalement traités par la remédiation audio que nous avons conçue. Pour la remédiation visant à éviter la difficulté, le nombre d'élèves montrant une sous-évaluation est plus élevé dans le groupe de remédiation que dans le groupe de contrôle. Par conséquent, il devrait y avoir un compromis dans la mise en œuvre de cette remédiation afin qu'elle n'ait pas d'impact négatif sur l'auto-évaluation des élèves. En d'autres termes, il semble que certains élèves qui s'autoévaluaient bien, mais évitaient les difficultés, aient résolu cette contradiction non pas en demandant des exercices plus difficiles, mais en déclarant qu'ils n'avaient pas l'impression de si bien faire après tout. Ce comportement pourrait indiquer soit qu'ils n'étaient pas si sûrs de leur auto-évaluation au départ, et que le fait de remettre en question leur évaluation les a fait hésiter, soit qu'ils « se jouent du système » (i.e. le contournent) en pensant que répondre différemment à la première question empêcherait le système d'augmenter trop la difficulté, ce qui confirmerait le diagnostic de leur comportement d'évitement de la difficulté.

Pour le déficit de « recherche de difficulté », nous n'avons pas détecté d'effet. Nous pouvons cependant noter que la taille de l'échantillon est plus petite ici que dans les analyses précédentes, il est donc possible qu'avec un nombre similaire d'échantillons, un effet apparaisse. Néanmoins, il peut également y avoir des explications pour lesquelles ce comportement n'est pas aussi facile à corriger que d'autres, car « rechercher la difficulté » est un comportement cohérent avec une forme d'excès de confiance, et rejeter un feedback du système est également cohérent avec un excès de confiance. Pour ces élèves, une intervention de l'enseignant pourrait être plus appropriée. Des stratégies alternatives pourraient consister à laisser l'élève sentir qu'il s'est trompé en lui donnant un exercice beaucoup plus difficile, ou encore lui demander avant un exercice dans quelle mesure il pense réussir afin de confronter sa performance réelle à sa propre auto-évaluation *a priori* (et pas seulement *a posteriori*).

Enfin, nous nous sommes concentrés uniquement sur la première et la deuxième réponse des élèves aux énoncés de mesures de difficulté perçue et voulue, qui sont des mesures très locales. Cela nous permet de mesurer précisément l'impact des remédiations sur les réponses des élèves. Cependant, nous n'avons pas décrit l'état d'autorégulation de l'apprentissage global de chaque élève et son évolution dans le temps après les deux premières réponses aux énoncés.

5. Conclusion et travaux futurs

Pour répondre aux QR1 et QR2, nous avons proposé une définition opérationnelle de certains déficits d'autorégulation de l'apprentissage. Cela a permis la conception d'une méthode de détection des déficits potentiels d'auto-efficacité et d'autorégulation d'élèves de 5 à 7 ans en posant aux élèves deux questions sur leur difficulté perçue et la difficulté souhaitée pour les exercices suivants. En analysant

et en caractérisant les schémas de réponses d'environ 12 000 élèves nord-américains et 3 000 élèves français, nous avons détecté des déficits chez près d'un tiers des élèves. Nous avons ensuite présenté un diagramme de séquence pour généraliser l'introduction de questions liées à l'AAR dans un EIAH.

Pour répondre aux QR3 et QR4, nous avons déterminé, à l'aide de métriques locales, l'impact des étayages visuels et auditifs lors des réponses aux questions d'auto-évaluation. L'impact des étayages visuels (une jauge) est toujours positif avec une diminution du nombre de déficits d'auto-évaluation. L'impact des étayages auditifs est mitigé : ils permettent de diminuer le nombre de surévaluations, mais augmente le nombre de sous-évaluations. Par conséquent, ils ne devraient être déclenchés que pour les élèves aux performances médiocres.

Nous avons également mesuré l'effet d'une remédiation qui était déclenchée lorsque des déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité étaient détectés. Nous avons réussi à réduire ces déficits pour certains élèves avec nos actions locales (pour l'auto-évaluation plus que pour l'auto-efficacité). Les travaux futurs incluent l'étude de l'impact de la remédiation dans le temps et de la nécessité de la renforcer régulièrement.

Nous avons limité notre champ d'action à l'auto-évaluation et à l'auto-efficacité dans les compétences d'autorégulation de l'apprentissage, car nous avons considéré que ces compétences étaient mesurables et pouvaient éventuellement être améliorées pour les élèves de la grande section au CE1. Les travaux futurs incluent donc l'étude d'autres compétences d'autorégulation chez les élèves de l'école primaire.

Ce travail souligne la possibilité d'étayer les compétences d'apprentissage autorégulé dans une application en ligne dès le plus jeune âge tout en apprenant une autre compétence.

6. Financement et précautions éthiques

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse CIFRE au sein de l'équipe MOCAH de Sorbonne Université et de l'entreprise Lalilo. L'utilisation du logiciel éponyme est gratuite pour les enseignants français dans le cadre d'un contrat de licence avec le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse suite au P2IA (<https://eduscol.education.fr/1911/partenerariat-d-innovation-et-intelligence-artificielle-p2ia>). Tous les traitements de données issues de Lalilo respectent le RGPD, conformément à la réglementation (<https://ressources.lalilo.com/privacy-fr.pdf>).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les relecteurs pour leurs retours riches et constructifs.

RÉFÉRENCES

- Azevedo, R. et Hadwin, A. F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition - Implications for the design of computer-based scaffolds. *Instructional Science*, 33(5), 367-379. <https://doi.org/10.1007/s11251-005-1272-9>
- Azevedo, R., Landis, R. S., Feyzi-Behnagh, R., Duffy, M., Trevors, G., Harley, J. M., Bouchet, F., Burlison, J., Taub, M., Pacampara, N., Yeasin, M., Rahman, A. K. M. M., Tanveer, M. I. et Hossain, G. (2012). The effectiveness of pedagogical agents' prompting and feedback in facilitating co-adapted learning with MetaTutor. Dans S. A. Cerri, W. J. Clancey, G. Papadourakis et K. Panourgia (dir.), *Proceedings of the 11th International Conference Intelligent tutoring systems (ITS 2012)* (p. 212-221). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30950-2_27
- Bandura, A. (2010). Self-Efficacy. Dans *The corsini encyclopedia of psychology*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0836>
- Bannert, M. et Reimann, P. (2012). Supporting self-regulated hypermedia learning through prompts. *Instructional Science*, 40(1), 193-211. <https://doi.org/10.1007/s11251-011-9167-4>
- Barnard, L., Lan, W. Y., To, Y. M., Paton, V. O. et Lai, S.-L. (2009). Measuring self-regulation in online and blended learning environments. *Internet and Higher Education*, 12(1), 1-6.
- Bimba, A. T., Idris, N., Al-Hunaiyyan, A., Mahmud, R. B. et Shuib, N. L. B. M. (2017). Adaptive feedback in computer-based learning environments: A review. *Adaptive Behavior*, 25(5), 217-234. <https://doi.org/10.1177/1059712317727590>
- Bouchet, F., Harley, J. M. et Azevedo, R. (2016). Can adaptive pedagogical agents' prompting strategies improve students' learning and self-regulation? Dans A. Micarelli, J. Stamper et K. Panourgia (dir.), *Proceedings of the 13th International Conference Intelligent Tutoring Systems (ITS 2016)* (p. 368-374). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8_43
- Bouchet, F., Harley, J. M. et Azevedo, R. (2018). Evaluating adaptive pedagogical agents' prompting strategies effect on students' emotions. Dans R. Nkambou, R. Azevedo et J. Vassileva (dir.), *Proceedings of the 14th International Conference Intelligent Tutoring Systems (ITS 2018)* (p. 33-43). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91464-0_4
- Brown, G. T. L., Andrade, H. L. et Chen, F. (2015). Accuracy in student self-assessment: Directions and cautions for research. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 22(4), 444-457. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2014.996523>
- Chang, M.-M. (2005). Applying self-regulated learning strategies in a web-based instruction—an investigation of motivation perception. *Computer Assisted Language Learning*, 18(3), 217-230. <https://doi.org/10.1080/09588220500178939>
- Dignath, C., Buettner, G. et Langfeldt, H.-P. (2008). How can primary school students learn self-regulated learning strategies most effectively? *Educational Research Review*, 3(2), 101-129. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2008.02.003>
- Dweck, C. S. (2014). *Self-theories: their role in motivation, personality, and development*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315783048>
- Ecalte, J., Navarro, M., Labat, H., Gomes, C., Cros, L. et Magnan, A. (2016). Concevoir des applications sur tablettes tactiles pour stimuler l'apprentissage de la lecture : avec quelles hypothèses scientifiques? *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, 23(2), 33-56. <http://sticef.org/num/vol2016/23.2.2.ecalle/23.2.2.ecalle.htm>
- Gronau, Q. F., Raj, K. N. A. et Wagenmakers, E.-J. (2020). *Informed Bayesian Inference for the A/B Test* (arXiv:1905.02068). arXiv. <https://arxiv.org/abs/1905.02068>
- Hattie, J. et Clarke, S. (2018). *Visible learning: Feedback*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429485480>
- Hoffman, B. et Spataru, A. (2008). The influence of self-efficacy and metacognitive prompting on math problem-solving efficiency. *Contemporary Educational Psychology*, 33(4), 875-893. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2007.07.002>

Jackson, J. W. (2002). Enhancing self-efficacy and learning performance. *The Journal of Experimental Education*, 70(3), 243-254. <https://doi.org/10.1080/00220970209599508>

JASP Team. (2022). *JASP (Version 0.16.3)* [logiciel]. <https://jasp-stats.org/>

Kim, J.-A. et Lorschbach, A. W. (2005). Writing self-efficacy in young children: Issues for the early grades environment. *Learning Environments Research*, 8(2), 157-175. <https://doi.org/10.1007/s10984-005-7248-5>

Masson, J. et Fenouillet, F. (2013). Self-efficacy and academic results at the primary school: Development and validation of a scale. *Enfance*, 4(4), 374-392.

Molenaar, I., Horvers, A., Dijkstra, R. et Baker, R. (2019). Designing dashboards to support learners' self-regulated learning. Dans *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK '19)* (p. 1-12). ACM.

Molenaar, I., Horvers, A., Dijkstra, R. et Baker, R. S. (2020). Personalized visualizations to promote young learners' SRL: The learning path app. Dans *Proceedings of the Tenth International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK '20)* (p. 330-339). <https://doi.org/10.1145/3375462.3375465>

Müller, N. M. et Seufert, T. (2018). Effects of self-regulation prompts in hypermedia learning on learning performance and self-efficacy. *Learning and Instruction*, 58, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.04.011>

Newton, P. M. (2015). The learning styles myth is thriving in higher education. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01908>

Panadero, E., Jonsson, A. et Botella, J. (2017). Effects of self-assessment on self-regulated learning and self-efficacy: Four meta-analyses. *Educational Research Review*, 22, 74-98. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.08.004>

Robinson, G. K. (2019). What properties might statistical inferences reasonably be expected to have?—Crisis and resolution in statistical inference. *The American Statistician*, 73(3), 243-252. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1415971>

Schmitz, B. et Perels, F. (2011). Self-monitoring of self-regulation during math homework behaviour using standardized diaries. *Metacognition and Learning*, 6(3), 255-273. <https://doi.org/10.1007/s11409-011-9076-6>

Schmitz, B. et Wiese, B. S. (2006). New perspectives for the evaluation of training sessions in self-regulated learning: Time-series analyses of diary data. *Contemporary Educational Psychology*, 31(1), 64-96. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2005.02.002>

Schunk, D. H. (1996). Goal and self-evaluative influences during children's cognitive skill learning. *American Educational Research Journal*, 33(2), 359-382. <https://doi.org/10.3102/00028312033002359>

Schunk, D. H. et Zimmerman, B. J. (2012). Self-regulation and learning. *Educational Psychology*, 7. <https://doi.org/10.1002/9781118133880.hop207003>

Stipek, D., Recchia, S. et McClintic, S. (1992). Self-evaluation in young children. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 57(1), 1-98.

Zheng, L. (2016). The effectiveness of self-regulated learning scaffolds on academic performance in computer-based learning environments: A meta-analysis. *Asia Pacific Education Review*, 17(2), 187-202. <https://doi.org/10.1007/s12564-016-9426-9>

Zimmerman, B. J. (2008). Investigating self-regulation and motivation: Historical background, methodological developments, and future prospects. *American Educational Research Journal*, 45(1), 166-183. <https://doi.org/10.3102/0002831207312909>



Comités

Rédactrice en chef

Élise LAVOUÉ • LIRIS, Université Jean Moulin Lyon 3

Comité de rédaction

Monique BARON • LIP6, Sorbonne Université, Paris

Laetitia BOULC'H • EDA, Université Paris Cité

Éric BRUILLARD • EDA, Université Paris Cité

Pierre-André CARON • CIREL, Université de Lille

Michel DESMARAIS • Polytechnique Montréal, Canada

Christophe DESPRÈS • LIUM, Le Mans Université

Béatrice DROT-DELANGE • ACTé, Université Clermont Auvergne

Nour EL MAWAS • CIREL, Université de Lille

Sébastien GEORGE • LIUM, Le Mans Université, Laval

Monique GRANDBASTIEN • LORIA, Université de Lorraine

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

Pierre JACOBONI • LIUM, Le Mans Université

Élise LAVOUÉ • LIRIS, Université Jean Moulin Lyon 3

Vanda LUENGO • LIP6, Sorbonne Université, Paris

Agathe MERCERON • Université de Berlin, Allemagne

Gaëlle MOLINARI • TECFA, Unidistance, Genève, Suisse

Chrysta PÉLISSIER • Praxiling, Université Montpellier 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 • Université du Québec à Montréal, Canada

Guy GOUARDÈRES • ISIHM, Université de Pau

Ulrich HOPPE • Université de Duisbourg, Allemagne

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

Comité de lecture

François-Xavier BERNARD • EDA, Université Paris Cité
Mireille BÉTRANCOURT • TECFA, Université de Genève, Suisse
Jacques BÉZIAT • CIRNEF, Université de Caen Normandie
Bernard BLANDIN • CREF, Université Paris Nanterre et CESI
François BOUCHET • LIP6, Sorbonne Université, Paris
Julien BROISIN • IRTIT, Université de Toulouse Paul-Sabatier
Thibault CARRON • LIP6, Sorbonne Université, Paris et Université de
Savoie Mont-Blanc
Ullrich CARSTEN • EdTec Lab, DFKI GmbH, Sarrebrück, Allemagne
Ghislaine CHARTRON • CNAM, Paris
Jacques CRINON • INSPÉ, Université Paris Est Créteil
Nicolas DELESTRE • LITIS, INSA de Rouen
Cyrille DESMOULINS • LIG, Université Grenoble Alpes
Philippe DESSUS • LSE, Université Grenoble Alpes
Angélique DIMITRACOPOULOU • LTEE, Université d'Egée, Grèce
Stéphanie FLECK • PErSEUs, Université de Lorraine - INSPE
Cédric FLUCKIGER • Théodile-CIREL, Université de Lille
Serge GARLATTI • Lab-STICC, IMT Atlantique, Brest
Jean-Marie GILLIOT • Lab-STICC, IMT Atlantique, Brest
Brigitte GRUGEON • LDAR, INSPÉ, Université Paris Est Créteil
Nicolas GUICHON • ICAR, Université Lumière Lyon 2
Nathalie GUIN • LIRIS, Université Lyon 1
France HENRI • LICEF, Télé-université, Université du Québec, Montréal,
Canada
Céline JOIRON • MIS, Université de Picardie Jules Verne, Amiens
Mehdi KHANEBOUBI • CY Cergy Paris Université
Vassilis KOMIS • Université de Patras, Grèce
Thérèse LAFERRIÈRE • TACT, Université Laval, Québec, Canada
Pierre LAFORCADE • LIUM, Université du Mans

Marie LEFÈVRE • LIRIS, Université Lyon 1
Dominique LENNE • Heudiasyc, Université de Technologie de Compiègne
Pascal LEROUX • CREN, Le Mans Université
Paul LIBBRECHT • Leibniz Institute for Research and Information in Education, Allemagne
Cabral LIMA • Université Fédéral de Rio de Janeiro, Brésil
Domitile LOURDEAUX • Heudiasyc, Université de Technologie de Compiègne
Nadine MANDRAN, LIG • Université de Grenoble Alpes
Pascal MARQUET • LISEC, Université de Strasbourg
André MAYERS • Université de Sherbrooke, Canada
Christine MICHEL • TECHNÉ, Université de Poitiers
Roger NKAMBOU • GDAC, Université du Québec à Montréal, Canada
Thierry NODENOT • LIUPPA, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Bayonne
Sandra NOGRY • Paragraphe, CY Cergy Paris Université - INSPé de l'Académie de Versailles
Yvan PETER • CRISTAL, Université de Lille
Julia PILET • LDAR, INSPÉ, Université Paris Est Créteil Val-de-Marne
Dominique PY • LIUM, Le Mans Université
Christophe REFFAY • ELLIAD, INSPÉ, Université de Franche-Comté
Éric SANCHEZ • TECFA, Université de Genève, Suisse
Karim SEHABA • LIRIS, Université Lyon 2
Nicolas SZILAS • TECFA, Université de Genève, Suisse
Gaëtan TEMPERMAN • Université de Mons, Belgique
André TRICOT • EPSYLON, Université Paul-Valéry Montpellier 3
Kalina YACEF • Université de Sydney, Australie
Amel YESSAD • LIP6, Sorbonne Université, Paris

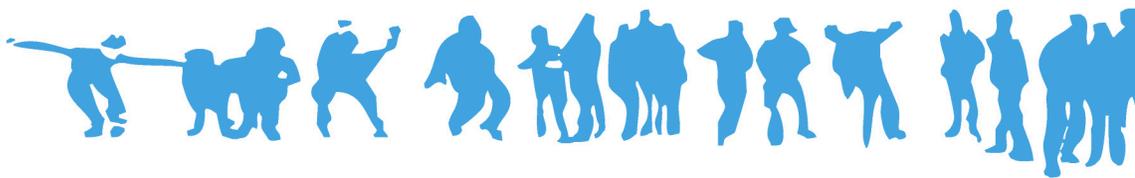
En mémoire d'anciens membres des comités

Erik DUVAL • Université de Louvain, Belgique
Jacques PERRIAULT • Université Paris Nanterre
François VILLEMONTÉIX • CIREL, Université de Lille

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

Richard CABASSUT • LISEC, Université de Strasbourg
Raphaëlle CRÉTIN-PIROLLI • CREN, Le Mans Université
Damien DJAOUTI • LIRDEF, Université de Montpellier
Hassina EL KECHAI • TECHNÉ, Université de Poitiers
Aurélien FIEVEZ • HES-SO Genève, Suisse

Mathieu LOISEAU • LIRIS, INSA Lyon
Stéphanie MAILLES VIARD METZ • ADEF, INSPÉ, Aix-Marseille Université
Daniel Albert PERAYA • TECFA - Université de Genève, Suisse
Philippe PERNELLE • Université Lyon 1
Rémi VENANT • LIUM, Le Mans Université
Abdelkarim ZAID • CIREL, INSPÉ, Université de Lille



ISBN 978-2-901384-06-9

DOI: 10.23709/sticef.29.2