



La réalité augmentée en classe au service des apprentissages des élèves

Augmented Reality in the Classroom to Support Student Learning

Realidad aumentada en el aula para apoyar el aprendizaje de los alumnos

<https://doi.org/10.52358/mm.vi15.343>

Cendrine Mercier, maître de conférences
Nantes Université – INSPE, France
Cendrine.mercier@univ-nantes.fr

Iza Marfisi-Schottman, maître de conférences
Le Mans Université – IUT de Laval, France
iza.marfisi@univ-lemans.fr

Mohamed Ez-zaouia, postdoctorant
Le Mans Université – IUT de Laval, France
Cendrine.mercier@univ-nantes.fr

Delphine Deshayes, professeure des écoles
Éducation nationale, France
classeedelphinedeshayes@gmail.com

RÉSUMÉ

La réalité augmentée est rarement utilisée dans les classes en France et pourtant elle semble avoir des vertus pertinentes pour le développement de connaissances et de compétences chez les apprenants. Dans le cadre d'une enquête exploratoire, une analyse de pratique





pédagogique instrumentée (de l'enseignante) est détaillée au regard de l'utilisateur (élève) d'un outil de réalité augmentée en classe de maternelle (cycle 1 – école maternelle – de 4 à 5 ans). L'apport de cet outil numérique sur les apprentissages et les compétences des élèves est étudié finement pour stabiliser le protocole de recherche et le proposer à l'ensemble des enseignants impliqués dans le projet de recherche. Les résultats soulignent plusieurs pistes encourageantes comme le développement de compétences sociocognitives et l'engagement des élèves. Du côté de l'enseignante, c'est un outil de plus au service de la pédagogie et un outil semblant répondre à des profils d'élèves avec des besoins éducatifs particuliers.

Mots-clés : pratiques pédagogiques, réalité augmentée (RA), maternelle, compétences, apprentissages

ABSTRACT

Augmented reality is rarely used in French classrooms. Yet, it seems to have relevant virtues for developing knowledge and skills in learners. Within the framework of an exploratory investigation, an analysis of instrumented pedagogical practice (of the teacher) is detailed regarding the user (student) of an augmented reality tool in a kindergarten class (cycle 1 - kindergarten - between 4 and 5 years old). The contribution of this digital tool to students' learning and skills is studied in detail to stabilize the research protocol and to propose it to all teachers involved in the research project. The results underline several encouraging leads, such as developing socio-cognitive skills and a driving force in the students' engagement. From the teacher's point of view, it is one more tool at the service of pedagogy and seems to be adapted to the profiles of students with special educational needs.

Keywords: pedagogical practices, augmented reality (AR), kindergarten, skills, learning

RESUMEN

La realidad aumentada se utiliza poco en las aulas francesas, pero parece tener virtudes relevantes para el desarrollo de conocimientos y habilidades en los alumnos. En el marco de una investigación exploratoria, se detalla un análisis de la práctica pedagógica instrumentada en relación con el uso de una herramienta de realidad aumentada en una clase de jardín de infancia (ciclo 1 - jardín de infancia - entre 4 y 5 años). Se estudia en detalle la contribución de esta herramienta digital en el aprendizaje y en las competencias de los alumnos para proponer un protocolo de recogida de datos pertinente a todos los profesores que participan en el proyecto de investigación. Los resultados subrayan varias pistas alentadoras, como el desarrollo de habilidades sociocognitivas y el impulso del compromiso de los estudiantes. Desde el punto de vista del profesor, se trata de una herramienta más para la pedagogía y una herramienta que parece responder a los perfiles de los alumnos con necesidades educativas especiales.

Palabras clave: prácticas pedagógicas, realidad aumentada (RA), jardín de infancia, habilidades, aprendizaje



Introduction

Dans le cadre d'un projet de recherche pluridisciplinaire (informatique et sciences de l'éducation et de la formation), un nouvel outil numérique de réalité augmentée (RA) est proposé à des enseignants. L'objectif est d'étudier les pratiques pédagogiques et didactiques des enseignants, mais également d'analyser leurs effets sur les apprentissages (prescrits ou effectifs) des élèves. Le développement de l'outil, dans une approche « centrée utilisateur » (Guffroy *et al.*, 2017), permet de proposer une solution au plus près des besoins des enseignants du premier et du second degré afin d'étayer les activités des élèves. L'intérêt d'un outil de RA est de permettre aux enseignants de créer eux-mêmes (outil-auteur) le contenu pédagogique afin de favoriser une forme de médiatisation (Rézeau, 2002), en contextualisant les données dans les apprentissages (Sadirac, 2019) pour promouvoir l'accessibilité aux savoirs. Le projet est mené auprès de 19 enseignants volontaires, dont 8 femmes et 11 hommes qui souhaitent faire évoluer leurs pratiques pédagogiques à l'aide d'un outil numérique de RA. Pour ce présent article, dans une étape préliminaire, nous proposons d'étudier la pratique instrumentée d'une seule enseignante du cycle 1 (école maternelle – de 4 et 5 ans). Cette première analyse permet de stabiliser le protocole de recueil de données à venir pour l'ensemble de la cohorte et d'envisager une observation longitudinale pour dépasser l'effet de nouveauté. Ainsi, à la fin du projet, le recueil de données permettra de vérifier que la RA est un outil (un moyen) au service de la pédagogie (Rabardel, 1995) et qu'elle permet, comme l'indique Lardé (2020), de soutenir l'autonomie, l'activité de l'élève et la réalisation de tâches collaboratives. Quelques résultats présentés dans le présent article vont dans ce sens, mais restent à nuancer au regard de la temporalité de la séquence. Les apports théoriques seront orientés sur la place de la RA dans la société et à l'école, mais également sur les intérêts ou les limites de ces technologies dans les apprentissages des élèves avec ou sans besoins éducatifs particuliers (BEP).

Cadre théorique

La réalité augmentée et ses possibles

La RA permet de projeter un ou plusieurs éléments virtuels à l'environnement physique – le monde réel – de l'utilisateur (Fallet *et al.*, 2022). Elle permet ainsi de développer des connaissances en lien avec des objets qui sont difficiles à observer dans la réalité (Harbola *et al.*, 2022; Li, 2022), non observables à l'œil nu (Degeer et Kumps, 2022) ou trop abstraits (Prasasti *et al.*, 2022), voire complexes. Les mises en application sont diverses et permettent notamment l'enseignement des sciences, comme la notion de champ magnétique (Kumar, 2022) ou le cycle du carbone (Huguet *et al.*, 2022). Elles permettent également le développement du vocabulaire dans une langue étrangère inconnue (Ibrahim *et al.*, 2018) ou l'apprentissage précoce de la langue (Fan *et al.*, 2020). La RA donne aussi un accès à des visuels limités en temps normal, comme la modélisation 3D du cerveau humain (Degeer et Kumps, 2022). Selon ces derniers auteurs, il sera nettement plus agréable d'observer, d'apprendre et d'enseigner ce dernier par sa manipulation virtuelle. Le site eduscol (juillet 2022)¹ indique que c'est une solution particulièrement bien adaptée à la formation, car elle permet de donner de l'autonomie à l'élève, de faire le lien entre le numérique et la réalité, et d'améliorer l'apprentissage par la spatialisation des informations.

¹ Eduscol est un portail national français de ressources pédagogiques. Lien vers la ressource : https://eduscol.education.fr/sti/ressources_techniques/realite-augmentee-par-reconnaissance-de-modele-numerique



Démocratisation des outils d'immersion

Pour identifier l'évolution de ces dispositifs pédagogiques qui s'invitent progressivement dans les classes, nous proposons de tracer les tendances de recherches des termes de RA dans un contexte global (pour les utilisateurs du moteur de recherche Google²) à l'aide de l'outil d'analyse de Google Trends³ pour la France. C'est en mars 2009 que les recherches sur la RA sont importantes et dépassent celles sur la réalité virtuelle (RV) (4,14⁴ pour la RV et 13,80 pour la RA en moyenne)⁵ sur le moteur de recherche. La tendance s'inverse fortement à partir de juillet 2015 avec des écarts assez importants par rapport à la période précédente (36,06 pour la RV et 13,30 pour la RA en moyenne)⁶. La RA a donc été bien plus populaire à une époque et les difficultés de prise en main dans la création de contenu par les personnes tout venant peut sans doute expliquer cette baisse de la recherche par mot-clé. Pourtant le discours se démocratise dans les politiques de l'Éducation nationale et il est nécessaire de comprendre les leviers et les freins que soulèvent ces technologies qui intègrent de la RA.

Avant d'étudier la plus-value de ces dispositifs immersifs, notons que la RA est habituellement facile d'accès, directement sur un *smartphone* ou une tablette tactile (Fallet *et al.*, 2022). Plusieurs outils utilisés au quotidien dans le monde par des millions d'utilisateurs proposent cette solution technologique (Fallet *et al.*, 2022). Nous pouvons citer quelques exemples bien connus du grand public : le jeu Pokemon GO⁷, le catalogue augmenté ou immersif de IKEA⁸ ou encore les filtres photo sur Snapchat ou Instagram⁹. Notons que ces outils ne sont pas paramétrables par les usagers. Or, l'éducation a besoin de moyen flexible pour adapter leur pratique en fonction d'un objectif pédagogique. Des outils de réalité augmentée sont proposés au monde de l'enseignement, mais une revue des outils existants (Ez-zaouia *et al.*, 2022) met en lumière qu'ils sont accessibles uniquement pour un groupe de personnes ayant des compétences de programmation avancées.

Réalité augmentée et apprentissages

Comparée à un dispositif non virtuel, la RA semble animer un comportement de compétitivité chez les enfants qui travaillent sur deux supports de jeu différents. Yu *et al.* (2022) font ce constat en comparant un groupe témoin utilisant un jeu de cartes traditionnel et un groupe expérimental utilisant un jeu de cartes en RA. Ainsi, ils mettent en avant que le groupe témoin a pris soin de trouver la bonne réponse, avec l'intention d'obtenir le score maximum, tandis que le groupe expérimental a joué de manière agressive en obtenant le score maximum. Ici, le support de jeu choisi semble avoir un impact sur les stratégies d'apprentissage. De son côté, Kumar (2022) souligne que la comparaison entre une simulation sur un écran d'ordinateur et une simulation en RA apporte des résultats similaires sur le plan des apprentissages chez les étudiants. Cependant, il ajoute que l'exploration est moins efficace dans la seconde configuration et que la motivation intrinsèque des apprenants est plus faible.

² Non compatible au Règlement général sur la protection des données (RGPD), pour information : « Plus de 90 % du trafic des recherches en France provient de Google (février 2019) »; source : <https://www.blogdumoderateur.com/chiffres-google/>.

³ Google Trends est un outil issu de Google Labs permettant de connaître la fréquence à laquelle un terme a été tapé dans le moteur de recherche Google, avec la possibilité de visualiser ces données par région et par langue. Données recueillies depuis 2004.

⁴ La courbe n'indique pas un nombre de recherches absolu mais une proportion de 0 à 100, où 100 représente la quantité maximale d'utilisation du terme dans la période et le lieu définis. La période étudiée est comprise de mars 2009 à octobre 2022.

⁵ 1,91 pour la RV et 4,32 pour la RA en moyenne pour le Canada.

⁶ 17,82 pour la RV et 4,06 pour la RA en moyenne pour le Canada.

⁷ Un jeu vidéo mobile fondé sur la localisation et utilisant la RA.

⁸ Une entreprise d'origine suédoise, spécialisée dans la conception et la vente de détail de mobilier et d'objets de décoration prêts à poser ou à monter en kit.

⁹ Les deux applications permettent le partage de photos et de vidéos.



Sur le versant plus positif, les études montrent, dans un module d'apprentissage sur les compétences en géométrie, que l'utilisation de supports d'apprentissage utilisant la RA peut stimuler l'état d'esprit des élèves dans la pensée critique (Sukasih *et al.*, 2022). Les apprenants peuvent visualiser des concepts abstraits pour comprendre et structurer un modèle d'objet. Selon Rajkumar *et al.* (2022), la RA permet une augmentation de l'engagement des apprenants en salle de classe plus qu'un modèle traditionnel. Bousquet *et al.* (2022) indiquent que la solution technologique en tant que telle ne présente pas d'intérêt, mais le soutien pédagogique (par l'accompagnement de l'enseignant) avec la RA le rend à la fois appréciable pour les apprenants et efficace pour les apprentissages. Selon les auteurs (Bousquet *et al.*, 2022), les activités intégrant la RA ont permis aux étudiants d'améliorer nettement leur compréhension des notions à acquérir tout en augmentant leur sentiment de confiance en soi et d'autonomie. Li (2022) fait, quant à lui, le constat de l'utilité de la RA dans l'enseignement à l'université pour améliorer l'écoute et la prise de parole en anglais.

Pratiques instrumentées des enseignants

Lardé (2020) souligne que les enseignants utilisent la RA dans certaines situations complexes d'apprentissage ou comme un complément visuel à leurs pratiques pédagogiques. L'intérêt de cette approche pédagogique réside dans le fait que l'apprenant peut, en situation d'apprentissage, essayer de dénicher les erreurs pour progresser et se tromper sans risque. L'auteur insiste sur le fait que les nouvelles pratiques numériques doivent être au service de l'élève, et non pas l'inverse. La RA doit donc rester un moyen, au sens de Rabardel (1995), et non pas une fin en soi. Il devient un outil au service des apprentissages et favorise l'adaptation ou la compensation des savoirs (Mercier, 2020) pour les élèves avec des BEP (Pionnier, 2022).

Dans une revue de la littérature, Dunleavy et Dede (2014) résument les résultats de la recherche sur la RA dans les environnements d'apprentissage formels et informels (écoles, musées, parcs, zoos, etc.), en mettant l'accent sur les possibilités associées à l'outil en ce qui concerne l'enseignement, l'apprentissage et la conception pédagogique. Pour les auteurs, en tant qu'outil cognitif et approche pédagogique, la RA est principalement alignée sur la théorie de l'apprentissage situé et (socio)constructiviste, car elle positionne l'apprenant dans un contexte physique et social du monde réel tout en guidant, en étayant et en facilitant les processus d'apprentissage participatifs et métacognitifs tels que l'enquête authentique, l'observation active, le *coaching* par les pairs, l'enseignement réciproque et la participation périphérique légitime avec de multiples modes de représentation. Quant à lui, Dugas (2018) souligne les limites des outils de RA en indiquant qu'il reste encore quelques points à améliorer avant de généraliser le dispositif dans les classes. Pour l'auteur, certaines fonctionnalités techniques sont encore mal implémentées, le matériel peut encore connaître quelques limitations techniques, ou l'interface peut manquer d'ergonomie ou de plasticité, et entraîner parfois une surcharge visuelle puis cognitive. Il est nécessaire pour lui d'aller vers une démocratisation des applications de la RA en classe. Pour Li (2022), la technologie RA atteindra des sommets dans une dizaine d'années.

Une seule étude, à notre connaissance, fait participer des enseignants de la maternelle dans un projet de recherche intégrant des outils-auteurs de RA (Liu *et al.*, 2022). Les auteurs soulignent dans leurs résultats que les enseignants ayant une attitude positive et une expertise dans l'utilisation de la technologie dans l'enseignement auraient une meilleure expérience de cet outil de création de RA. Ils mettent en lumière des éléments qui doivent être approfondis dans le cadre de prochaines recherches : s'assurer de la possibilité de flexibilité du contenu créé, l'expérience d'enseignement des participants, mais aussi l'impact de ces outils de création de RA sur la pratique enseignante et les apprentissages des élèves. Ce sont ces points qui feront l'objet d'une réflexion approfondie dans le cadre de cet article.



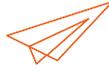
Problématique

Progressivement, la RA prend place dans notre société et plus spécifiquement dans les situations d'apprentissage sous le drapeau de l'innovation pédagogique (Rajkumar *et al.*, 2022). Alors que le domaine de la médecine l'utilise depuis presque 20 ans (Fallet *et al.*, 2022), son intégration à l'école prend du temps et il est nécessaire de convaincre les enseignants pour favoriser son adoption et son appropriation sans angoisse (Mercier, 2022) et la mise en pratique dans les classes pour tous les niveaux scolaires. Loin d'être un concept nouveau, il divise toujours sur la scène scientifique et les apports de la RA sont encore à démontrer. Pourtant, une méta-analyse, proposée par Mohammadhossein *et al.* (2022), met en lumière 21 avantages de la RA comme des effets significatifs sur la motivation et le plaisir d'apprendre. Cependant, ils nuancent leurs propos en ajoutant que les effets de l'appropriation de l'outil sur le développement de l'autonomie et de la concentration ne sont pas examinés en détail et ils conseillent que ces deux indicateurs soient examinés. De plus, Lardé (2020) souligne que les études « objectives » portant sur la RA à des fins éducatives montrent un impact positif réel sur les apprentissages, car elle permet aux élèves de se projeter dans des environnements nouveaux. Cependant, il regrette que très peu d'enseignants, en 2019, maîtrisent les connaissances techniques nécessaires pour déployer des activités en RA et recommande de former les enseignants à cette nouvelle technologie. Il est vrai que la formation des enseignants « à » et « par » les outils numériques est fondamentale et une approche par projet permet aux enseignants de s'approprier un outil au service des apprentissages des élèves (Mercier, 2022).

L'approche par projet pédagogique représente une plus-value qu'il ne faut pas négliger, car nous le savons maintenant, la dissémination des outils numériques en classe ne permet pas des usages systématiques et crée même parfois des angoisses chez les enseignants (Ferrière *et al.*, 2013). C'est l'entrée proposée dans ce présent article pour les participants à notre enquête. L'objectif de recherche est donc d'identifier les usages de la RA dans un contexte spécifique à la maternelle dans la pratique de l'enseignante, mais également sur les apprentissages des élèves. À l'instar des travaux sur le bien-être autour de l'usage des outils numériques de Mercier (à paraître), l'accompagnement des enseignants sur l'intégration de la RA en classe devient un prérequis pour faciliter l'appropriation et la mise en place dans les activités pédagogiques. Tout comme l'étude proposée par Liu *et al.* (2022) auprès de 51 enseignants de la maternelle à l'université, nous proposons – à un groupe d'enseignants volontaires – un outil de création de ressources d'apprentissage avec la RA qui a été conçu et développé pour aider et accompagner les enseignants sans expérience préalable sur la création de contenu dans un milieu immersif. L'analyse des situations avec les enseignants permettra alors de savoir de quelles façons la RA affecte (avec un meilleur contrôle) les expériences d'apprentissage des apprenants (Lin *et al.*, 2022) mais également, en amont, comment elle est envisagée par les enseignants en pratique et pour quels objectifs pédagogiques.

Méthodologie

Le projet initial profite d'une participation de 19 enseignants volontaires en France métropolitaine et à Futuna. Deux rencontres ont eu lieu avec eux dans le cadre du projet de recherche : des séances de co-conception du scénario pédagogique (28/02/2022 et 22/06/2022). Dans une phase préliminaire, une seule enseignante a été sollicitée (car volontaire pour commencer la phase expérimentale) en début de projet pour un développement de contenu intégrant de la RA en classe. Cette phase est essentielle pour permettre d'ajuster notre protocole de recherche dans le cadre des autres observations en situation de classe. Cette enseignante pilote nous permet de poser les jalons d'une observation qui a été généralisée à partir de janvier 2023.



Participants et procédures de réalisation de l'enquête

Le présent article se focalise sur la pratique d'une seule enseignante. Ainsi, un entretien préalable et une phase de conception ont été proposés (21/09/2022). Puis une séance avec les élèves a été mise en place par l'enseignante (23/09/2022). Enfin, un entretien a été mené avec l'enseignante (24/10/2022) pour débattre de la plus-value de l'outil de RA en situation d'apprentissage piloté par son objectif pédagogique.

L'enseignante, titulaire depuis 21 années, se présente comme une personne non experte des outils numériques et elle indique utiliser un *smartphone*, une tablette tactile et un ordinateur portable pour sa pratique personnelle. Elle souligne ne pas avoir bénéficié d'une formation initiale, mais qu'elle a participé à quelques activités de formation continue sur les outils numériques. Elle dit se débrouiller quand elle en a besoin. Elle est enseignante d'une classe de moyenne et grande section (cycle 1 – école maternelle – de 4 à 5 ans) avec 26 élèves et son école est équipée de 30 tablettes tactiles Android qu'elle utilise parfois dans sa pratique pour garder notamment des traces d'activité des élèves dans leurs productions ou proposer des logiciels éducatifs (Zoom de Jocatop, repérage dans l'espace, application My Picture Books, application des couleurs de l'océan).

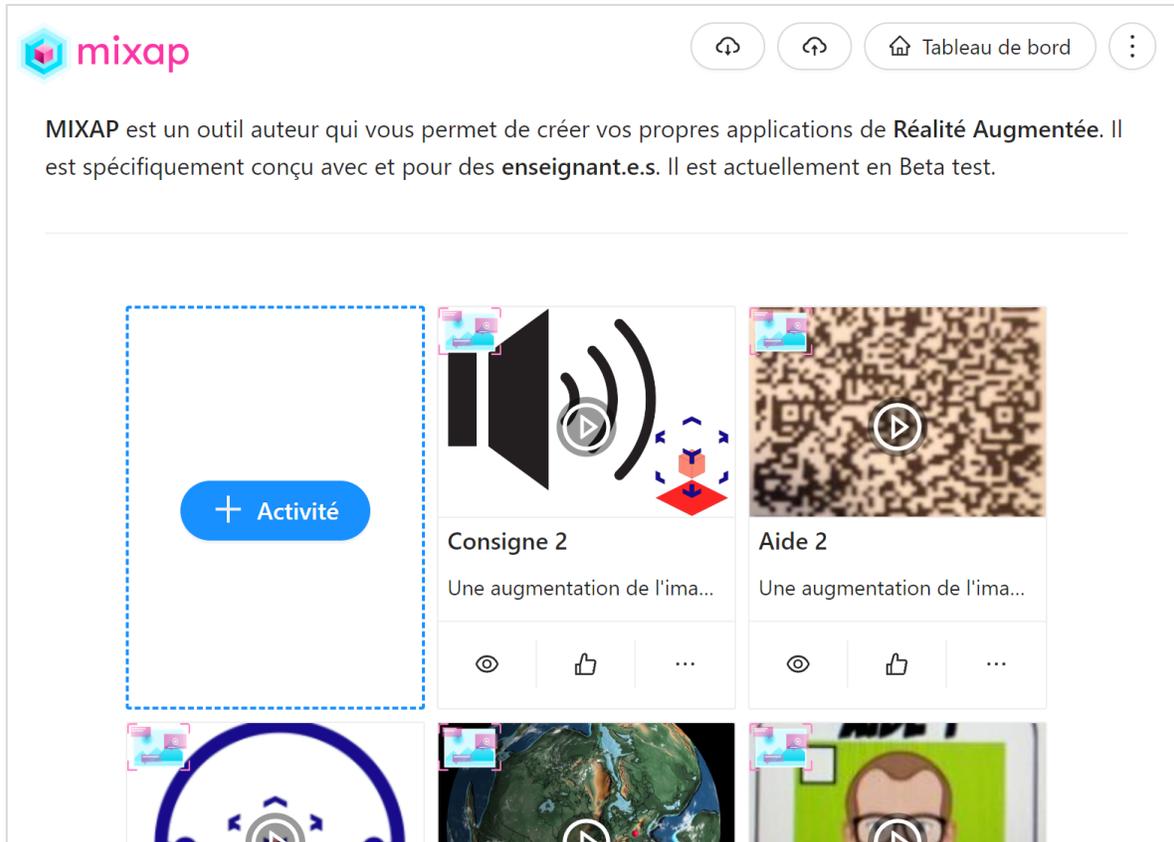
Outils et recueils des données

L'outil-auteur numérique de création d'activités éducatives en RA proposé aux enseignants (nommé MIXAP – figure 1) rend compte d'un développement « centré-utilisateur » (Guffroy *et al.*, 2017), imprégné dans une approche de recherche et développement. Cette approche offre la possibilité d'une conception participative et propose donc une place à tous les enseignants afin de permettre, à court terme et dans une visée de conception itérative, d'ajuster le développement de l'outil au service du terrain pédagogique. L'outil-auteur (qui est une application téléchargeable) ne nécessite pas de connexion Internet et est disponible gratuitement.



Figure 1

Visuel de l'application MIXAP (outil-auteur) pour la création de contenu en RA



D'un point de vue technique, l'outil numérique donne la possibilité de créer des activités du type : augmenter une image, valider une image, associer deux images ou superposer des calques (Ez-zaouia *et al.*, 2022). L'interface utilisateur de MIXAP se compose de quatre vues principales : la bibliothèque, le tableau de bord, l'éditeur et le lecteur d'augmentation. Lorsque l'utilisateur lance une activité avec le lecteur, l'objet marqueur est reconnu via la caméra de l'appareil de l'utilisateur (tablette ou *smartphone*) et les augmentations numériques (virtuelles) sont projetées sur l'objet marqueur tangible (réel). Dans le cas d'une activité d'association, l'utilisateur doit ajouter deux marqueurs. L'outil MIXAP permet aux utilisateurs de personnaliser tous les aspects des augmentations en termes de contenu et d'apparence. Les augmentations représentent les ressources média que l'utilisateur peut ajouter à une activité de RA, à savoir des textes, des audios, des vidéos, des objets 3D et des boutons qui ouvrent des fenêtres d'informations. Les utilisateurs peuvent ajouter des ressources à partir de leurs appareils ou créer et modifier des ressources à l'aide d'outils de ressources multimédias intégrés à MIXAP (figure 2). En outre, les utilisateurs peuvent personnaliser la taille, la couleur, la forme et les polices de textes des ressources d'une activité de RA. Il est également possible de regrouper ou d'ordonner des activités en sélectionnant deux activités ou plus pour créer un groupe d'activités avec la possibilité de planifier leur ordre en créant un parcours d'activités de RA.



Figure 2

Activité d'apprentissage avec l'application MIXAP



Note. © Membre du projet MIXAP. Reproduit avec son autorisation. Une élève passe la tablette tactile équipée de l'application MIXAP et du contenu créé par l'enseignante pour découvrir les photos, les mots et les sons correspondants.

L'ensemble des séances (conception des activités avec l'outil-auteur et la séance en classe avec les élèves) est enregistré (captation vidéo – deux ou trois caméras fixes pour couvrir tout le champ de l'expérimentation). Les entretiens (deux sessions d'une heure) sont enregistrés pour faciliter l'analyse de corpus au regard de l'objectif pédagogique de l'enseignante dans la séance et pour proposer un retour réflexif sur la séance réalisée avec les élèves (captation audio – dictaphone pour les entretiens). Le *cloud* sécurisé accueille toutes les données recueillies et les analyses réalisées de façon analytique nous permettent de rendre compte des premiers résultats et de stabiliser le protocole pour les séances à venir avec le groupe d'enseignants. Les objets de l'analyse sont les suivants : pratiques instrumentées de l'enseignante et son étayage, mais aussi apprentissages développés et comportement des élèves.

Résultat

Préparation et conception de la séance

UN OUTIL AU SERVICE D'UN OBJECTIF PÉDAGOGIQUE ET DU BESOIN DES ÉLÈVES

L'entretien commence avant la conception sur la tablette tactile des activités augmentées pour connaître l'objectif pédagogique qui guide l'enseignante. Elle explicite qu'il faut enrichir le lexique des élèves pour les préparer à la lecture intégrale d'un album jeunesse (attendus du cycle 1¹⁰). Elle ajoute, à partir de ses

¹⁰ Domaine Mobiliser le langage dans toutes ses dimensions (arrêté du 18 février 2015 fixant le programme d'enseignement de l'école maternelle, 2015)



observations, que certains élèves s'égarerent avec les illustrations, ce qui limite la compréhension des mots. Elle souhaite donc, en lien avec ce constat, partir des illustrations de l'album pour les transposer à des images réelles, mais surtout les associer à des mots écrits. À long terme, elle ambitionne que ces mots écrits puissent correspondre à trois types d'écriture (scripte, majuscule et cursive). Avant la conception, elle indique être confiante dans la réalisation de ce qu'elle avait imaginé dans son projet en amont. Sa prochaine séance, avec une approche instrumentée, s'ancre dans une séquence qui a déjà commencée. C'est maintenant le temps de cristalliser les connaissances. Plus tard, elle pourra proposer l'activité intégrant la RA pour permettre à un élève de retrouver, en autonomie, le vocabulaire au besoin. L'outil tablette tactile, équipée de l'application de RA, est pour l'enseignante un support permettant de proposer d'autres modalités d'enseignement. C'est donc bien un moyen pour favoriser un accès aux savoirs pour les apprenants. Ainsi, l'outil-auteur de RA permet à l'enseignante de créer des augmentations adaptées en lien avec son objectif pédagogique et les besoins de ses élèves.

UNE INSTRUMENTALISATION DE L'OUTIL AU SERVICE DES APPRENTISSAGES

Dans un premier temps, au cours de la séance de coconception, la création du contenu sur la tablette tactile via l'application de RA est réalisée avec un certain accompagnement de la part des chercheurs en informatique; ceci est nécessaire afin de rendre possible le souhait formulé par l'enseignante dans son projet et parce que la version utilisée précédemment a évolué. Dans un second temps, l'appropriation de l'outil se fait progressivement par l'enseignante. En effet, les différentes étapes sont intégrées par celle-ci et lui permettent d'automatiser des gestes dans son activité instrumentée. De plus, au fur à mesure de ses manipulations sur l'outil, elle prend en compte les contraintes (instrumentation) et propose des pistes pédagogiques en utilisant ces contraintes comme un moyen d'agir sur le développement des activités (instrumentalisation). Pour illustrer ce dernier point, elle souligne, après avoir enregistré une capsule audio comme augmentation d'une image-marqueur, qu'il est envisageable que les élèves puissent réaliser eux-mêmes cette capsule pour développer leur langage oral. L'outil qui était initialement pensé pour permettre de travailler sur le langage écrit va progressivement l'amener vers d'autres activités de remédiation pour les élèves.

DU PROJET PÉDAGOGIQUE À LA PROJECTION EN CLASSE

À la fin de son activité de création, l'entretien permet d'échanger sur les possibles de la séance à venir avec les élèves. L'enseignante indique ne pas être inquiète et qu'il n'est pas nécessaire d'être un expert de la tablette tactile pour l'utiliser avec les élèves, mais ajoute tout de même qu'il est plus simple d'être conseillé. Elle indique avoir déjà utilisé ces outils en classe (en activités complémentaires) et que depuis peu elle récolte les traces d'activité des élèves avec l'appareil photo intégré. Elle est assez d'accord pour dire qu'elle se sent compétente dans l'usage de l'outil numérique en classe auprès des élèves et est d'accord sur le fait de gérer l'outil dans sa pratique pédagogique. Enfin, elle est tout à fait d'accord pour dire que la tablette tactile peut-être utile pour des apprentissages (outil attirant pour les élèves et qui propose du contenu plus riche que le support papier seul, et ce, dans une modalité permettant la manipulation) et de ce fait, cet outil l'intéresse. À la question « est-ce que la production réalisée va répondre à l'objectif pédagogique? », l'enseignante répond : « oui, je pense... et je vois déjà des activités que je peux faire après au-delà de cela. Des enfants qui pourraient trouver et associer les images et les mots » (une nouvelle instrumentalisation). Elle envisage donc de créer une activité à partir de sa création de contenu sur l'application RA pour permettre aux apprenants d'identifier et d'associer une image (p. ex. : une craie que l'on retrouve dans la classe) à un mot (p. ex. : le mot « craie » écrit) correspondant à ce qui est observé sur l'album jeunesse (p. ex. : une craie avec des yeux – image imaginaire).



Activités réalisées par les élèves

INTRODUIRE UN NOUVEL OUTIL EN CLASSE

Une phase de familiarisation avec l'enseignante et le groupe d'élèves permet d'identifier les vignettes correspondantes à chaque activité intégrant de la RA sur l'outil-auteur (une vignette donne accès à une augmentation avec l'album jeunesse papier intitulé *L'énigme du tableau noir*¹¹). Tous les élèves font un essai pour prendre connaissance de ce qui apparaît sur le support numérique. Dans le premier essai, l'enseignante demande aux élèves :

« Qu'est-ce qui se passe quand nous passons la tablette sur la règle [du livre]? »

Une élève répond :

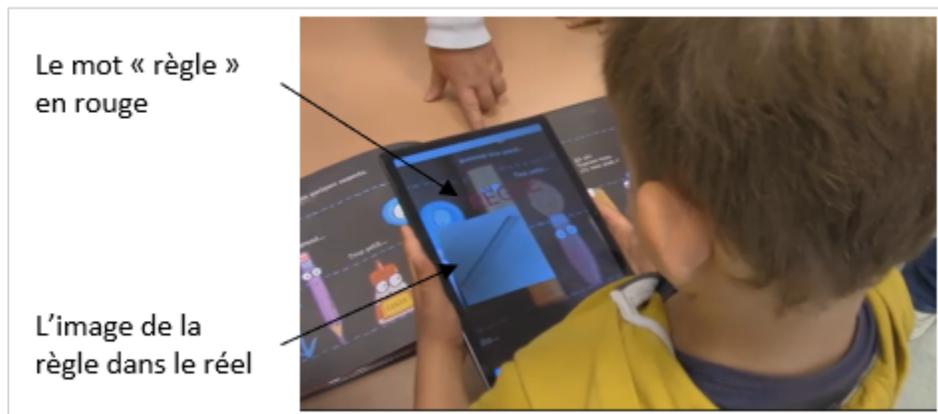
« Ça fait la règle [réelle en photo]. »

Un autre ajoute :

« L'écriture de la [du mot] règle. »

Figure 3

Activité d'apprentissage sur tablette avec l'application MIXAP, côté élève



Note. © Membre du projet MIXAP. Reproduit avec son autorisation. Un élève passe la tablette tactile équipée de l'application X sur une page de l'album jeunesse pour faire apparaître le mot « règle » et l'image de la règle.

À chaque essai les élèves indiquent qu'il y a le mot écrit et le « vrai » objet en photo. L'enseignante offre de l'assistance aux élèves notamment pour la prise en main et la position de la tablette tactile dans les mains des enfants; cela permet de favoriser l'apparition des augmentations : « tu es trop près du livre ». Tous les élèves souhaitent voir le contenu sur l'application, et ce, pour tous les essais. Cette phase de familiarisation (figure 3) permet d'introduire la tablette tactile et son contenu (via l'application) pour préparer l'activité à suivre comme cela est fait pour tout outil, même non numérique (p. ex. : la règle – instrument de géométrie).

¹¹ Livre jeunesse de Richard Byrne (2018).



La consigne est donnée à l'ensemble du groupe. Le travail pédagogique se réalise à partir d'un outil papier (album jeunesse) déjà connu par les élèves, des tablettes tactiles possédant l'application de RA et le contenu pédagogique créé par l'enseignante. Les élèves consultent les différentes vignettes (pour avoir accès aux images augmentées) sur le support numérique et doivent, par comparaison terme à terme, trouver la localisation de la page dans l'album jeunesse pour avoir accès aux augmentations.

Figure 4

Activité d'apprentissage avec l'application MIXAP, côté enseignante



Note. © Membre du projet MIXAP. Reproduit avec son autorisation. Au passage de la tablette tactile, dans les mains de l'enseignante, équipée de l'application X de RA, le mot « CRAIE » apparaît en bas à droite de l'écran et une photo de craies apparaît en haut à gauche de l'outil.

Ainsi, les élèves, en plaçant la tablette tactile au-dessus de l'ouvrage papier (sans prendre de photo, juste avec un passage), font apparaître une photo et un texte (en majuscules) virtuels sur un support réel (l'album jeunesse). L'exemple en figure 4 illustre le propos. Un troisième contenu a été ajouté pour le mot « ciseaux » et permet aux apprenants d'entendre un son correspondant à l'image et au mot écrit.

UNE ACTIVITÉ PERMETTANT LE RENFORCEMENT DES COMPÉTENCES SOCIOCOGNITIVES

Une fois les mots identifiés (la photo de l'objet réel et le mot, voire le son), les élèves ont pour tâche, en binôme, de faire correspondre, sur une feuille d'activité volante, plusieurs étiquettes ensemble. Par exemple, un flacon de colle représenté dans l'album jeunesse (représenté par un dessin imaginaire – une colle avec des yeux – dans l'encadré en haut à droite de la figure 5) auquel les élèves doivent faire correspondre la photo de l'image réelle (qu'ils retrouvent dans le quotidien) et le mot écrit qui correspond, à savoir le mot « COLLE ». Notons que la tâche peut être complexe (avec des obstacles didactiques), car plusieurs mots commencent par la même lettre en fonction de la feuille d'activité. Sur le support papier d'activité, trois objets commencent par la même lettre : « COLLE », « CRAIE » et « CISEAUX ».



Figure 5

Activité de correspondance pour les élèves



Note. © Membre du projet MIXAP. Reproduit avec son autorisation. Deux élèves travaillent sur la correspondance entre les images de l'album jeunesse, les photos dans le réel et les mots écrits en majuscules les représentants.

Les binômes font preuve de coopération en divisant les tâches pour être plus efficaces. Un élève manipule la tablette tactile au-dessus de l'album jeunesse pour trouver les indices révélés par augmentation. Pendant ce temps, l'autre élève se charge de récupérer les indices et de chercher les étiquettes correspondantes pour les disposer sur le support papier d'activité.

Cette division de la tâche est sans doute liée au fait qu'il est difficile de stabiliser le support numérique par les jeunes qui doivent nécessairement trouver un allié pour achever l'activité. Une vérification est opérée par les élèves pour valider ou non leur proposition. Une autocorrection favorise une activité autonome chez les élèves et quand cela est difficile, un léger étayage de l'activité est proposé par l'enseignante (figure 6).



Figure 6

Accompagnement de l'enseignante



Note. © Membre du projet MIXAP. Reproduit avec son autorisation. Deux élèves vérifient le mot choisi avant de le coller sur leur feuille d'activité sous le regard de l'enseignante (à gauche) et l'enseignante vérifie le mot affiché sur l'application (à droite).

Retour réflexif de la professionnelle sur la séance

Un entretien en visioconférence a été réalisé avec l'enseignante le 24 octobre 2022 (un mois après la séance) à propos des usages de l'outil numérique et du contenu de l'application avec ses élèves. Son premier retour fait référence à la situation atypique en contexte de classe avec la présence des adultes munis de caméra pour le projet et la capacité de ses élèves d'en avoir fait abstraction. Dans sa pratique professionnelle, la séance menée a été agréable et sans embûche. La suite de l'entretien permet de relever des éléments pédagogiques et didactiques en faveur de l'utilisation de la RA en classe tout en soulignant les limites de la solution. Ces points deviendront les critères d'évaluation des prochaines séances avec l'ensemble de la cohorte.

POSTURE ET RÉGULATION DU GROUPE CLASSE

La posture de l'enseignante a progressivement évolué pour laisser peu à peu les élèves en autonomie :

« Le but c'était qu'ils deviennent autonomes. »

Elle intervenait seulement pour débloquer des situations d'apprentissage limitées parfois par l'usage de l'outil numérique. Le contenu de la séance était déjà connu des apprenants et il était question de consolider les apprentissages. C'est l'ensemble des stratégies proposées par l'enseignante qui permet aux élèves, en situation instrumentée, de vérifier leurs connaissances sur l'objet d'apprentissage.

Pour l'enseignante, c'est un support de plus au service des apprentissages et un complément visuel :

« C'est un plus que l'on apporte à un objet [d'apprentissage]. C'était l'objectif pour moi. »

La phase de familiarisation est importante pour permettre aux élèves de développer des compétences relatives au vivre-ensemble : chacun son tour, coopérer et interagir. Selon elle, tous les nouveaux supports (numériques ou non) proposés en classe nécessitent cette phase de familiarisation et donc de régulation.



Des élèves, au début de la séance, rencontrent parfois des difficultés pour réaliser la tâche en binôme avec la tablette tactile par rotation. Cependant, elle observe le même comportement lorsqu'elle propose un jeu de plateau où tous les élèves veulent jeter le dé. L'accompagnement de l'enseignante, comme habituellement, permet de proposer un cadre bienveillant et structurant à tous les élèves.

COMPÉTENCES SOCIOCOGNITIVES

Pour l'enseignante, à durée égale sur une activité débranchée de 30 minutes, les élèves ont fait preuve d'une concentration tout à fait ordinaire. Ils ont également fait preuve d'une mobilisation de leur mémoire de travail pour trouver les mots écrits dans la barquette en plastique (mêlés à des mots inutiles pour certains binômes). L'enseignante a travaillé avec eux en amont sur la reconnaissance des premières lettres d'un mot pour le retrouver sur un autre support. Ici, elle observe donc le réinvestissement de cette stratégie travaillée plus tôt dans l'année pour faciliter la réalisation de l'activité.

Au cours de la séance suivante, elle souligne que quelques élèves ont fait preuve de métacognition (présentation de leurs stratégies pour réaliser l'activité) auprès des élèves absents ou n'ayant pas participé à l'étude (pour faire suite aux autorisations des responsables légaux). En effet, les élèves ayant participé devaient expliciter ce qu'ils avaient fait et les stratégies mobilisées pour mener à bien l'activité proposée. C'est au cours de ce retour que l'enseignante a pu prendre conscience que l'outil numérique utilisé permettait également un retour métacognitif de la part des élèves dans leurs apprentissages.

UNE RÉPONSE AUX BESOINS ÉDUCATIFS PARTICULIERS DES ÉLÈVES ET UNE SOURCE DE MOTIVATION?

L'activité proposée a permis une forte coopération de la part des apprenants :

« Ils s'aidaient les uns les autres. »

Ceci est renforcé par les conditions de réalisation de la tâche. En effet, les élèves devaient travailler en binôme avec une tablette tactile, une forme d'imitation se met en place pour des élèves en manque de confiance en eux et réservés. L'enseignante indique que la pratique en binôme sur l'outil a sans doute permis à deux élèves d'essayer et de s'autoriser à faire des erreurs. Deux autres élèves, décrits avec des BEP (hyperactivité pour l'un et des traits autistiques pour l'autre), participent à la séance avec le même engagement que tout le groupe classe. L'enseignante ajoute dans son discours :

« Ça ne s'est pas vu [sur la vidéo]? »

Elle émet une hypothèse que le support numérique favorise un comportement adapté de ces deux élèves en séance. Cependant, elle souligne l'importance de vérifier cela à l'avenir.

L'enseignante souligne qu'elle a observé des élèves motivés et souriants quant à l'intégration d'un nouvel outil en classe pour son activité. Une forme de joie pour elle qui émane de la découverte d'un support (numérique) et d'un travail réalisé de manière différente. Elle a déjà constaté cette motivation chez les élèves, mais ici elle signifie qu'elle était unanime :

« Ça a vraiment accroché tout le monde. »



Elle émet alors l'hypothèse que l'effet de nouveauté peut avoir une incidence et qu'il serait nécessaire d'observer la motivation de ses élèves à long terme avec un contenu différent. Pour elle, le contenu doit évoluer et c'est à la charge de l'enseignant de le rendre attrayant.

Discussion

Usages de la réalité augmentée par l'enseignante

L'appropriation de l'application de RA sur la tablette tactile par l'enseignante lui permet de créer du contenu en lien avec son objectif pédagogique. D'abord dans une instrumentation de l'outil (ce que l'outil lui permet de faire), elle passe rapidement, dans une projection, à une possible instrumentalisation lui permettant de capitaliser sur la création du contenu (ce qu'elle souhaite faire avec l'outil) (Béguin et Rabardel, 2000; Mercier, à paraître). L'outil est considéré comme un moyen au service du projet, mais surtout au service des apprentissages. C'est une modalité complémentaire pour permettre aux apprenants de faire un lien entre les différents concepts enseignés. L'application de RA ne vise pas l'accès à un contenu inaccessible dans cette enquête, mais bien une association de supports visuels et parfois audio réunis sur un seul et même outil (Lardé, 2020). La multiplication des modalités permet aux élèves de travailler sur les régularités des objets étudiés puis sur leur généralisation pour consolider les apprentissages (Bruner, 1983). L'ensemble de ces observations sont rendues possibles par une approche par projet (en lien avec les besoins de l'enseignante et de ses élèves) et non pas par une approche par dissémination de technologies dans les classes qui peut rapidement entraîner des angoisses chez les enseignants quant à l'usage (Ferrière *et al.*, 2013).

Cette pratique instrumentée, utilisant la RA, est suggérée par le ministère de l'Éducation nationale en France. En effet, dans le livret présenté en 2019 à l'occasion de l'université d'été Ludovia, la RA est citée comme simulation immersive dans le cadre de l'innovation numérique, mais toujours au service de l'efficacité pédagogique. Le rapport stipule que la solution numérique « permet [...] aux élèves d'entrer dans des expériences à partir de situations authentiques [qui] constituent [...] une autre perspective structurante en matière de pédagogie » (ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, 2019, p. 12). Ceci est rendu possible par la création de contenu de l'enseignante. Comme le souligne Bousquet *et al.* (2022), la solution technologique en tant que telle ne présente pas d'intérêt et c'est bien l'élaboration du contenu, mais aussi l'accompagnement de l'enseignante qui permet de donner du sens aux apprentissages. Le rôle du pédagogue est central et a trop souvent été ignoré dans les travaux autour des pratiques instrumentées (Mercier, à paraître). Pour cette dernière, l'activité instrumentée va permettre de soulever une contrainte de temps (l'élève peut travailler en autonomie en activité détachée), de durée (tirer profit de ce qui est déjà créé en contenu pour imaginer d'autres activités) et de lieu (utiliser le support dans d'autres environnements – musée ou sortie – dans le cadre scolaire; Tricot, 2021).

Intérêt de la réalité augmentée pour les élèves

D'un point de vue des programmes du cycle 1, la manipulation et l'usage d'une tablette tactile sont des compétences à développer : « agir sur une tablette numérique » (ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, 2020, p. 21). En effet, ce qui est attendu en fin d'école maternelle par les élèves est : « Utiliser des objets numériques : appareil photo, tablette [tactile], ordinateur » (p. 22). En soi, l'intégration de la RA en classe peut répondre à cet objectif de fin de cycle, mais qu'en est-il pour les apprentissages des élèves via cet outil numérique de RA?



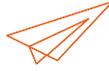
À partir des premiers résultats, avec le suivi de la progression d'une enseignante sur sa séquence, il semblerait que la technologie de RA proposée est intéressante pour optimiser les approches médiatiques et d'apprentissage, comme le soulignent Sabil *et al.* (2022) dans une enquête auprès des collégiens en mathématiques (bien que les deux populations ne soient pas comparables). La séance permet aux élèves d'identifier des objets réels qui sont représentés d'une certaine manière dans l'album jeunesse (imaginaire) ainsi que d'identifier des mots écrits spécifiques pour travailler sur le vocabulaire, car ces mots sont baignés dans le texte et ne permettent pas à l'élève de les identifier sans l'aide d'un adulte (ATSEM¹² ou enseignante). C'est donc un atelier qui permet à un binôme d'élèves de travailler en autonomie avec le matériel déposé sur la table. Plusieurs points positifs sont soulignés et nuancés par l'enseignante : sollicitation de la mémoire de travail (ou mémoire à court terme), motivation unanime, concentration et coopération. Les résultats sont similaires à ceux présentés par Ahuja *et al.* (2022) : augmentation de la motivation, facilité d'interaction, développement des compétences cognitives, amélioration de la mémoire à court terme et leçons plus agréables, rendant l'expérience globale stimulante et engageante.

Faisons maintenant un point sur les effets de la coopération qui permettent à quelques élèves avec des BEP d'essayer l'outil numérique et de travailler d'une façon différenciée. Selon l'enseignante, deux élèves au profil atypique (TSA ou hyperactivité) font preuve d'imitation par observation des pairs ou du second membre du binôme pour entrer dans l'activité. Ces observations, en lien avec l'activité médiatisée des élèves présentant des BEP, avec une tablette tactile, sont déjà étayées dans la littérature scientifique (Bourdon *et al.*, 2018). Cette modalité utilisant un outil numérique, proposant un complément visuel, favorise la progression des élèves dans l'activité en leur permettant d'essayer plusieurs fois, de dénicher les erreurs au fur et à mesure pour progresser, mais également et surtout de se tromper sans risque (Lardé, 2020) avec une autocorrection accessible à tout moment. L'album jeunesse en RA semble donc être un outil intéressant pour le développement des connaissances des élèves, comme l'ont souligné les travaux de Sukasih *et al.* (2022).

L'ensemble de ces observations devra faire l'objet d'une étude plus fine pour s'assurer qu'il n'y a pas seulement un effet de nouveauté. Par conséquent, ce dernier peut être un biais considérable à prendre en compte pour généraliser les résultats à venir avec l'ensemble des professionnels impliqués dans le projet. Seul un temps d'habituation, sur une période d'accommodation laissée au sujet, suffisent à obvier à cet effet (Laurencelle, 2005). Ainsi, comme le souligne l'enseignante dans son entretien final, le pédagogue doit s'assurer de l'intérêt et de la pertinence du contenu pour ses élèves (comme il le ferait pour un contenu sur un support non numérique). Elle ajoute également que c'est à l'enseignant de faire attention de ne pas surcharger le support (l'interface numérique) pour favoriser l'ergonomie. Le rôle de l'enseignante est central dans la conception et l'utilisation du contenu intégrant de la RA. Ces deux derniers éléments sont pilotés par les objectifs pédagogiques de l'enseignante. Ce qui est important pour elle, c'est de ne pas être soumis à l'outil :

« C'est nous [les enseignants] qui allons créer l'outil, comme on veut qu'il soit. On sait pourquoi on le fait aussi. »

¹² Agent territorial spécialisé des écoles maternelles



Conclusion

Les premiers résultats soulignent l'importance du rôle de l'enseignant dans la création du contenu pédagogique et didactique, mais également dans l'accompagnement des élèves autour d'un nouvel outil numérique en classe. L'outil de RA, considéré comme un outil de plus au service de la pédagogie, permet à l'enseignante un pouvoir d'agir (Rabardel, 1995) lui permettant, en partie, d'atteindre son objectif pédagogique en toute quiétude. Le développement de sa séance avec une approche par projet donne du sens à sa pratique et favorise l'évolution des élèves sur les compétences à développer. Le projet de l'enseignante ne s'arrête pas à la séance, il se poursuit dans ses projections pour l'envisager comme un outil permettant, tout au long de l'année, de consolider des connaissances. Ainsi, l'appropriation de l'outil par l'enseignante engendre une première instrumentation (ce que l'outil lui permet de faire), puis une seconde instrumentalisation (ce qu'elle souhaite faire avec l'outil; Mercier, 2022) qu'il conviendra d'étudier dans les mois à venir. En effet, la littérature scientifique montre que le manque de temps des enseignants freine massivement l'usage des outils numériques en classe (Ferrière *et al.*, 2013). La plus-value de l'outil numérique dans la pratique enseignante semble se confirmer (Shaumiwaty *et al.*, 2022).

D'un point de vue des apprenants, plusieurs éléments sont notables et soulignent l'intérêt de la RA dans les classes pour favoriser les apprentissages. Il est notifié que les élèves qui sollicitent leur mémoire de travail :

- font preuve d'une motivation qui n'est pas aussi unanime habituellement (tout en s'interrogeant sur l'effet de nouveauté);
- montrent un intérêt particulier pour les situations interactives (Roy, 2022);
- participent de manière coopérative avec un autre élève.

Les effets sur le comportement de deux élèves avec BEP soulignent une piste intéressante permettant de la différenciation pédagogique. Ainsi, la tablette numérique, par ses propriétés physiques, avec l'application de RA et le contenu créé par l'enseignante, semble répondre aux BEP de deux élèves d'une manière différente du reste du groupe classe. Par imitation, ces deux jeunes s'autorisent la découverte d'un nouvel outil et la réalisation d'une activité sur un support numérique et papier. Le support numérique devient alors un outil de médiatisation permettant l'accès aux savoirs pour les élèves qui rencontrent parfois quelques difficultés pour entrer dans les activités. En agissant sur la situation (Gremion et Gremion, 2020) plus que sur les BEP des élèves, l'enseignante offre une porte dérobée aux apprenants pour qu'ils puissent participer à l'activité et vivre peut-être de « meilleures expériences d'apprentissage » (Ahuja *et al.*, 2022). Cependant, il reste difficile de statuer sur un possible effet sur les apprentissages, avant même de parler de réussite scolaire (Anil et Batdi, 2022), des élèves sans un suivi longitudinal. Ce sera donc un des objectifs de l'analyse des données à venir avec l'ensemble des enseignants et de leurs élèves en situation d'apprentissage.



Liste de références

- Ahuja, N. J., Dutt, S., Choudhary, S. Iohmor, et Kumar, M. (2022). Intelligent Tutoring System in Education for Disabled Learners Using Human–Computer Interaction and Augmented Reality. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2124359>
- Anil, Ö., et Batdi, V. (2022). Use of augmented reality in science education: A mixed-methods research with the multi-complementary approach. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11398-6>
- Arrêté du 18 février 2015 fixant le programme d'enseignement de l'école maternelle en France (2015). <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000030340778>
- Béguin, P., et Rabardel, P. (2000). Concevoir pour les activités instrumentées. *Revue d'intelligence artificielle*, 14(1-2). http://tecfa.unige.ch/tecfa/maltt/cofor-1/textes/bequin_rabardel00.pdf
- Bourdon, P., Lefer-Sauvage, G., Mercier, C., Teutsch, P., et Lopez, S. (2018). Le rôle de l'imitation dans l'appropriation des outils numériques chez les enfants avec autisme. Étude de l'usage des tablettes tactiles en ULIS – école TED et IME. *Enfance*, 1, 147-168. <https://doi.org/10.3917/enf2.181.0147>
- Bousquet, B., Canioni, L., Guillet, J.-P., Fleck, S., Normand, E., et Hachet, M. (2022). HOBIT. Un concept innovant pour la transformation des pratiques pédagogiques en physique. *Reflets de la physique*, 73, 36-39. <https://doi.org/10.1051/refdp/202273036>
- Bruner, J. S. (1983). *Le développement de l'enfant : Savoir-faire, savoir dire*. Presses universitaires de France.
- Degeer, M., et Kumps, A. (2022). *Les compétences numériques des élèves et des enseignants : À l'heure du Pacte pour un Enseignement d'excellence*. De Boeck (Pédagogie et Formation).
- Dugas, J. (2018, novembre). La réalité augmentée dans un contexte d'apprentissage. *Adjectif*. <https://adjectif.net/spip.php?article480>
- Dunleavy, M., et Dede, C. (2014). Augmented Reality Teaching and Learning. Dans J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, et M. J. Bishop (dir.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (p. 735-745). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_59
- Ez-zaouia, M., Marfisi-Schottman, I., Oueslati, M., Mercier, C., Karoui, A., & George, S. (2022). A Design Space of Educational Authoring Tools for Augmented Reality. Dans K. Kiili, K. Antti, F. de Rosa, M. Dindar, M. Kickmeier-Rust, et F. Bellotti (dir.), *Games and Learning Alliance* (p. 258-268). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22124-8_25
- Fallet, V., Mehlman, C., Canellas, A., et Cadranel, J. (2022). Réalité virtuelle pour la relaxation avant les soins. *Revue des Maladies Respiratoires Actualités*, 14(2, Supplément 1). [https://doi.org/10.1016/S1877-1203\(22\)00135-5](https://doi.org/10.1016/S1877-1203(22)00135-5)
- Fan, M., Antle, A. N., et Warren, J. L. (2020). Augmented Reality for Early Language Learning: A Systematic Review of Augmented Reality Application Design, Instructional Strategies, and Evaluation Outcomes. *Journal of Educational Computing Research*, 58(6), 1059-1100. <https://doi.org/10.1177/0735633120927489>
- Ferrière, S., Cottier, P., Lacroix, F., Lainé, A., et Pulido, L. (2013). Dissémination de tablettes tactiles en primaire et discours des enseignants : Entre rejet et adoption. *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, 20. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01138251>
- Gremion, F., et Gremion, L. (2020). De l'élève à la situation : Pour une prise en compte des besoins de la situation éducative particulière. Dans N. Chatelain, C. Miserez-Caperos et G. Steffen (dir.), *Interagir dans la diversité à l'école : regards pluriels* (p. 13-28). Éditions HEP-BEJUNE.
- Guffroy, M., Vigouroux, N., Kolski, C., Vella, F., et Teutsch, P. (2017). From Human-Centered Design to Disabled User et Ecosystem Centered Design in Case of Assistive Interactive Systems. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development*, 9(4). <https://doi.org/10.4018/IJSKD.2017100103>
- Harbola, S., Storz, M., et Coors, V. (2022). Augmented Reality for Windy Cities : 3D Visualization of Future Wind Nature Analysis in City Planning. Dans V. Coors, D. Pietruschka, et B. Zeitler (dir.), *ICity. Transformative Research for the Livable, Intelligent, and Sustainable City: Research Findings of University of Applied Sciences Stuttgart*, 241-250. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92096-8_15



- Huguet, C., Pearse, J., et Tarazona, A. M. L. (2022). Using Augmented Reality to improve understanding of the Carbon cycle. 8th *International Conference on Higher Education Advances (HEAd'22)*, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia. <https://doi.org/10.4995/HEAd22.2022.14487>
- Ibrahim, A., Huynh, B., Downey, J., Höllerer, T., Chun, D., et O'donovan, J. (2018). ARbis Pictus: A Study of Vocabulary Learning with Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(11), 2867-2874. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2868568>
- Kumar, A. (2022). *Challenges of Using Augmented Reality to Teach Magnetic Field Concepts and Representations* [these de doctorat, Columbia University, New York, États-Unis]. <https://doi.org/10.7916/xyz0-qz75>
- Lardé, M. (2020). *Une école pour demain*. Evidence Éditions.
- Laurencelle, L. (2005). *Abrégé sur les méthodes de recherche et la recherche expérimentale*. PUQ.
- Li, N. (2022). Research on Augmented Reality College English Listening and Speaking Teaching Mode Supported by Wearable Technology. *Mobile Information Systems*, 2022. <https://www.hindawi.com/journals/misy/2022/2760131/>
- Lin, W., Lo, W.-T., et Yueh, H.-P. (2022). Effects of learner control design in an AR-based exhibit on visitors' museum learning. *PLOS ONE*, 17(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274826>
- Liu, E., Cai, S., Liu, Z., et Liu, C. (2022). WebART: Web-based Augmented Reality Learning Resources Authoring Tool and Its User Experience Study among Teachers. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(1), 1-14. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3214854>
- Mercier, C. (2020). Accompagner les élèves avec autisme dans des espaces co-éducatifs avec un outil numérique de planification. *Traduction et Langues*, 19(1). <https://www.asip.cerist.dz/en/article/133456>
- Mercier, C. (2022). De la fourchette au zirgouflex : Quand quelqu'un veut développer une pratique instrumentée, mieux vaut lui apprendre à cheminer que de lui donner la solution. *Cahiers pédagogiques*, 580, 47-49. <https://www.cahiers-pedagogiques.com/n-580-vers-une-education-numerique/>
- Mercier, C. (à paraître). Comment l'outil devient-il un instrument dans l'esprit de l'Homme au travers de son activité et comment peut-il devenir un acteur de cela? Dans *La relation à autrui en régime numérique*. Chronique sociale.
- Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse (2019). *Le numérique au service de l'école de la confiance*. https://www.education.gouv.fr/sites/default/files/imported_files/document/DP-LUDOVIA_987361.pdf
- Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports (2020, 30 juillet). Programme du cycle 1. En vigueur à la rentrée 2020. *Bulletin officiel*, 31. <https://tinyurl.com/3bd4kfnw>
- Mohammadhossein, N., Richter, A., et Lukosch, S. (2022). Benefits of Using Augmented Reality in Learning Settings: A Systematic Literature Review. *Forty-Third International Conference on Information Systems*, Copenhagen. <https://tinyurl.com/muzmjdkj>
- Pionnier, X. (2022). Le numérique comme bien commun et la protection des données, notamment concernant les élèves à Besoins éducatifs particuliers : Un exemple, l'usage de la réalité augmentée. *La nouvelle revue – Éducation et société inclusives*, 94(2), 267-274. <https://doi.org/10.3917/nresi.094.0267>
- Prasasti, I. H., Priyangan, D. M., et Fransiska, H. (2022). Development of Innovative Learning Assessment Modules on Augmented Reality-Based Space Building. *Budapest International Research and Critics Institute-Journal (BIRCI-Journal)*, 5(4). <https://www.bircu-journal.com/index.php/birci/issue/view/56>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01017462>
- Rajkumar, R., Ramakrishnan, S., Yeturu, P. N., et Reddy, A. S. (2022). A real-time Augmented Reality application to increase the learners' engagement in Classroom. 2022 *IEEE 5th International Symposium in Robotics and Manufacturing Automation (ROMA)*, 1-3. <https://doi.org/10.1109/ROMA55875.2022.9915660>
- Rézeau, J. (2002). Médiation, médiatisation et instruments d'enseignement : Du triangle au « carré pédagogique ». *ASp, la revue du GERAS*, 35-36. <https://doi.org/10.4000/asp.1656>
- Roy, D. (2022). La SandBox, outil dynamique au service de la représentation spatiale dans l'apprentissage de la géographie. *Mappemonde. Revue trimestrielle sur l'image géographique et les formes du territoire*, 134. <https://doi.org/10.4000/mappemonde.7890>



- Sabil, H., Noverma, N., et Indri, S. (2022). The practice of using interactive media with augmented reality (AR) based on STEAM (science, technology, engineering, arts and mathematics) in student learning. *Cakrawala Pedagogik*, 6(2). <https://doi.org/10.51499/cp.v6i2.335>
- Sadirac, N. (2019). Apprendre 3.0. Par l'inventeur de la pédagogie d'Epita, Epitech, l'école 42 et zone 01. Éditions First.
- Shaumiwaty, S., Fatmawati, E., Sari, H. N., Vanda, Y., et Herman, H. (2022). Implementation of Augmented Reality (AR) as A Teaching Media in English Language Learning in Elementary School. *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 6(6). <https://doi.org/10.31004/obsesi.v6i6.3398>
- Sukasih, S., Wulandari, D., et Permana, Z. F. (2022). The Effectiveness of Augmented Reality Book to Improve Critical Thinking Ability at Elementary School Students. *Journal of Education for Sustainability and Diversity*, 1(1). <https://doi.org/10.57142/jesd.v1i1.2>
- Tricot, A. (2021). Le numérique permet-il des apprentissages scolaires moins contraints? Une revue de la littérature. *Éducation et sociétés*, 45(1), 37-56. <https://doi.org/10.3917/es.045.0037>
- Yu, Y.-L., Wu, T. T., et Huang, Y.-M. (2022). *Learning behavior in augmented reality-mediated mobile game-based learning*. Library Hi Tech. <https://doi.org/10.1108/LHT-03-2022-0122>