

MIXAP : Un outil auteur d'activités éducatives en réalité augmentée

Mohamed Ez-zaouia¹, Iza Marfisi-Schottman¹, Cendrine Mercier²

¹ Le Mans Université, LIUM, Le Mans, France

² Nantes Université, CREN UR 2661, Nantes, France

{mohamed.ez-zaouia, iza.marfisi}@univ-lemans.fr,
cendrine.mercier@univ-nantes.fr

Résumé. La Réalité Augmentée (RA) a un grand potentiel pour l'apprentissage multisensoriel et expérientiel. Cependant, la création d'activités éducatives en RA est loin d'être une tâche facile pour les non-informaticiens. Pour examiner si une approche outil auteur pour la RA peut être bénéfique en contexte éducatif, nous avons conçu MIXAP dans une démarche participative auprès de 19 enseignants pilotes. Nous avons mené une étude avec 39 enseignants pour évaluer l'outil avec des enseignants pilotes et non-pilotes. Nous avons trouvé que cette approche peut aider les enseignants à créer des activités pédagogiques de RA. Les tailles d'effets de la facilité de prise en main, le ressenti émotionnel, et la faible charge cognitive de MIXAP étaient significativement importantes avec un transfert entre enseignants pilotes et non-pilotes. Nous discutons de nos résultats et proposons des perspectives.

Mots-clés : Outil Auteur, Réalité Augmentée, Éducation, Design Itératif, Design Participatif

Abstract. Augmented Reality (AR) has great potential for multisensory and experiential learning. However, creating educational activities in AR is far from an easy task for non-technical users. To examine whether an AR authoring approach can be beneficial in an educational context, we designed MIXAP through a participatory process with 19 pilot teachers. We conducted a study with 39 teachers to evaluate the tool with both pilot and non-pilot teachers. We found that this approach can help teachers create pedagogical AR activities. The effect sizes of ease of use, emotional experience, and low cognitive load of MIXAP were significantly important with transferability between pilot and non-pilot teachers. We discuss our results and propose perspectives.

Keywords: Authoring Tool, Augmented Reality, Education, Iterative Design, Participative Design

1 Introduction

La Réalité Augmentée (RA) est de plus en plus utilisée pour l'apprentissage [6] en offrant un environnement multimodal pour représenter un contenu pédagogique et interagir avec ce dernier de manière immersive [18]. Cela peut être un bon support à la pédagogie, car elle permet aux apprenants d'interagir avec des concepts parfois difficiles à observer (ex. : force magnétique) et d'accéder à des ressources multimodales tout en manipulant des objets réels [5]. Ces modalités peuvent favoriser l'apprentissage multisensoriel (la vue, le toucher et l'ouï) et expérientiel [19, 21] dans de nombreuses disciplines [11, 2]. La recherche préconise la RA pour offrir un apprentissage immersif qui engage les apprenants et facilite la compréhension du contenu et les phénomènes étudiés [3].

Cependant, la création d'activités pédagogiques en RA est loin d'être une tâche facile. La création de contenu en RA nécessite des connaissances et des compétences avancées dans les librairies spécialisées³. Les *outils auteurs* [13] offrent une approche qui pourrait démocratiser la RA en éducation puisqu'ils permettent à des non-informaticiens, comme des enseignants, de créer leur propres applications de RA en utilisant des interactions intuitives [25]. Par exemple, un enseignant peut créer une activité de RA en prenant une photo d'un objet, d'une affiche ou d'un livre et en y ajoutant des ressources multimodales sous forme d'augmentations (texte, audio, vidéo, images ou modèles 3D). Ces ressources apparaissent quand les apprenants placent la tablette ou le smartphone au-dessus de l'objet pris en photo initialement. Bien que les outils auteurs réduisent le verrou technique, de récentes études systématiques ont soulevé plusieurs défis dans la création d'application de RA à des fins pédagogiques. En effet, les outils actuels restent complexes à utiliser pour les enseignants et la personnalisation des contenus est encore très contrainte [1, 22, 11]. En outre, des études ont révélé que les outils de création de RA existants offrent un support limité pour les contenus éducatifs [25, 6], suggérant que plus de recherches sont nécessaires. Nous avons pour objectif de répondre à la question de recherche : *Comment aider les enseignants à créer leurs propres activités pédagogiques en RA ?*

Pour examiner si et comment une approche "*outil auteur*" pour la RA peut être bénéfique en contexte éducatif, nous avons d'abord conçu MIXAP (Figure 1), un prototype qui permet aux non-informaticiens de créer des activités en RA d'une manière interactive et visuelle. Nous avons conçu MIXAP via un processus de design itératif et participatif avec 19 enseignants. Pour examiner notre approche avec un public plus large d'enseignants nous avons mené une étude évaluant cette approche avec 39 enseignants sur les plans d'utilisabilité, d'utilité, d'acceptabilité et du transfert. Cette étude compare un groupe d'enseignants pilotes et un 2e groupe d'enseignants non-pilote (utilisant MIXAP pour la première fois). Nous avons constaté que MIXAP peut aider les deux groupes d'enseignants à créer des activités de qualité en RA. Nous avons trouvé que, pour les deux groupes, la facilité d'utilisation, la facilité de prise en main et le ressenti émotionnel étaient significativement plus élevées que la valeur médiane, avec

3. Tels que Unity, Threejs, Vuforia, ARCore, etc.

des tailles d'effet fortes. De plus, nous avons trouvé que la charge cognitive de l'utilisation de MIXAP était significativement inférieure à la valeur médiane.

2 État de l'art

Avantages de la RA en éducation. Plusieurs études ont été menées sur l'usage, les tendances et les avantages des applications de RA pour l'éducation [17, 1, 2, 6, 10, 11, 8]. Par exemple, Radu [17] a analysé 26 études comparant l'apprentissage avec ou sans RA et a découvert que la RA présentait plusieurs avantages pour les apprenants, tels que la motivation, la collaboration, la mémorisation et l'apprentissage de structures spatiales. Garzón et al. [8] a examiné l'impact des facteurs pédagogiques qui sont favorisés par l'usage de la RA, tels que les approches pédagogiques mises en place (ex: l'apprentissage collaboratif, l'apprentissage par projet, l'apprentissage situé, l'apprentissage multimédia), la durée de l'activité et le contexte d'utilisation (ex. : dans une salle de classe, à l'extérieur, lors d'excursions, dans des musées). Les auteurs ont notamment constaté que la RA collaborative avait l'impact le plus positif sur les apprenants. Ibáñez and Delgado-Kloos [11] a examiné la littérature de la RA dans domaines de la science, technologie, ingénierie et mathématiques et a caractérisé les applications de RA, les processus pédagogiques, les approches de recherche et les limites des travaux dans cette direction. Dans cet article, nous nous intéresserons plutôt à la production de ces applications de RA par les enseignants à travers des outils auteurs [25]. De tels outils visent à rendre la création, la modification ou l'extension d'artefacts logiciels moins techniques et plus faciles pour les non-informaticiens [13]. Bien que ces outils auteurs soient extrêmement prometteurs pour une adoption plus large de la RA dans l'éducation, elles n'ont pas été étudiées de manière approfondie.

Outils auteurs de RA. Très peu d'études ont examiné les aspects de conception pédagogique de RA. Nebeling and Speicher [16] ont classé les outils facilitant le prototypage rapide d'expériences de RA/VR en fonction de quatre catégories principales : types d'écran, interaction (utilisation de la caméra), contenu 3D et jeux 3D. Mota et al. [15] ont examiné les outils de création en fonction des paradigmes de création (autonome, plug-in) et des stratégies de déploiement (spécifique à la plate-forme, indépendante de la plate-forme). Dengel et al. [6] ont examiné 26 bibliothèques de RA citées dans des travaux scientifiques. Ils les ont caractérisé en fonction du niveau de compétences en programmation requis (élevé, faible ou moyen), du niveau d'interactivité (statique ou dynamique), de l'accessibilité (gratuite ou commerciale), de la compatibilité des dispositifs (mobile, bureau, HMD ou Web) et de la capacité de collaboration (oui ou non). Cependant, les recherches susmentionnées se sont principalement concentrées sur les outils de création qui nécessitent un certain niveau de programmation et analysent exclusivement les outils issus de travaux de recherche, y compris les outils non éducatifs. Ez-Zaouia et al. [25] ont récemment analysé 21 outils auteurs de RA spécifiquement dédiés à l'éducation, ne nécessitant pas de programmation, issue de l'industrie et de la recherche. Les auteurs ont analysé des

outils selon une grille de quatre dimensions : (1) les modes de conception offertes (type de production de RA, sources de contenu, conception collaborative et type de plateforme), (2) les modalités de RA disponibles (suivi d'objet, augmentation d'objet, interaction et navigation), (3) l'utilisation de RA (type de dispositif, collecte de contenu, connectivité et langue) et (4) les options de gestion du contenu et des utilisateurs (partage, administration et licence). En outre, ces études ont soulevé plusieurs problèmes de conception de la RA en éducation, notamment la difficulté d'utilisation, le manque de personnalisation, le coût élevé de la technologie et l'absence de modèles holistiques et de principes de conception pour la RA [25, 6, 1, 22, 11, 16]. Bien que ces études aient fourni un aperçu sur le design des outils auteurs de la RA, il manque des travaux spécifiques aux outils auteurs de RA pour l'éducation qui impliquent des acteurs du terrain selon une méthode *Design-Based Research*.

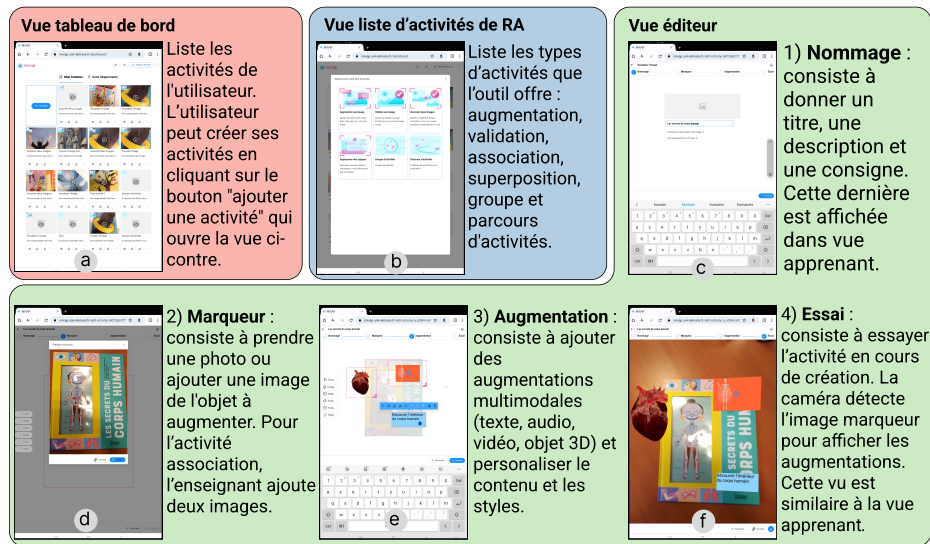


Fig. 1 – MIXAP offre des workflows de création pour les six activités de RA. Chaque workflow fournit des étapes de création à l'aide d'interactions visuelles. Les augmentations de RA peuvent être : textes, images, audios, vidéos, objets 3D et boutons qui ouvrent des fenêtres d'informations. Les utilisateurs peuvent personnaliser le contenu et l'apparence des augmentations RA ; les tourner en 3D, redimensionner, personnaliser les styles et glisser-déposer autour d'un marqueur.

3 Processus de conception itératif centré sur l'enseignant

Nous menons nos travaux dans le cadre d'une méthode *Design-Based Research* avec un processus de conception itératif, centré sur les enseignants [23]. Nous présentons l'*exploration du domaine* en collaborant avec des experts, le *design participatif* en collaboration avec des enseignants pilotes, le *prototypage itératif* ainsi qu'une première *évaluation* de notre approche avec 39 enseignants.

3.1 Partenariat avec le réseau Canopé

Pour comprendre l'utilisation de la RA, les pratiques des enseignants et les défis liés à l'intégration de la RA dans les salles de classe au quotidien, nous avons signé un partenariat avec le réseau CANOPÉ, un organisme public qui offre des formations professionnelles aux enseignants dans toute la France. Les animateurs de CANOPE de la ville de Laval proposaient déjà des formations sur la RA et étaient en relation avec des enseignants locaux qui souhaitent utiliser cette technologie dans leur classe. Au début du projet, nous avons donc pu apprendre de leurs expériences sur les méthodes de travail qui sont les moins contraignantes pour les enseignants, les applications et les outils auteurs de RA actuellement disponibles, mais surtout les défis auxquels les enseignants font face avec ces outils. Un des défis récurrents évoqué est l'impossibilité de personnaliser le contenu. En effet, de nombreuses applications de RA, présentées comme pédagogiques, proposent du contenu prêt à l'emploi. Même si elles sont impressionnantes au premier abord, elles sont rarement adaptées aux besoins des enseignants, soit parce que le contenu n'est pas adapté aux profils des apprenants ou ne s'intègre pas de façon logique dans leurs séquences pédagogiques. Quelques outils auteurs existent tout de même, permettant aux enseignants de créer leur propre contenu [25] mais, ils ne proposent pas d'approches pédagogiques. Ces constats corroborent des résultats des revues systématiques [6, 1, 22, 11, 16]. D'autres défis sont plus prosaïques. Par exemple, la plupart des outils auteurs disponibles nécessitent une connexion internet ce qui est rédhibitoire pour plus de la moitié des enseignants français qui n'ont pas accès à un réseau WIFI stable dans leurs établissements.

3.2 Implication d'enseignants pilotes

Par le biais du réseau CANOPÉ, nous avons recruté un panel de 19 enseignants pilotes avec des profils différents puisque l'objectif est de concevoir un outil auteur qui répond aux besoins de tous les enseignants : [Sexe : (femmes = 8, hommes = 11), années d'enseignement : (min = 2, max = 40), niveau scolaire : (élémentaire = 5, moyen = 11, secondaire = 2, universitaire = 1)].

Ces enseignants pilotes ont été impliqués à travers une entrée par projet. C'est-à-dire que nous leur avons demandé d'imaginer des activités en RA qu'ils vont ensuite utiliser dans leurs classes. Les productions des enseignants et leurs réponses aux questionnaires concernant leurs profils et objectifs pédagogiques sont accessibles librement sur Mendeley [14]. L'analyse de ces productions a permis d'identifier six types d'activités pédagogiques de RA récurrentes. Le fait de partir des besoins de terrains a non seulement permis de trouver un sens pédagogique aux activités de RA mais aussi de découvrir certaines façons d'utiliser la RA qui ne sont pas faisables dans les outils auteurs existants, mais qui semblent pourtant pertinentes d'un point de vue pédagogique.

Le type d'activité que l'on retrouve le plus souvent est l'**augmentation d'image**. Elle permet de faire apparaître des ressources multimodales (texte, image, vidéo, audio, modèle 3D et fiche d'information complémentaire) sur une

image (ex. : poster, livré, fiche d'exercice). Par exemple, une enseignante de primaire souhaite ajouter des photos d'animaux et des enregistrements audio avec le vocabulaire à retenir (ex. : "Le renne a quatre sabots et deux bois") aux pages d'un livre. Un autre enseignant au lycée souhaite afficher les modèles 3D que ces élèves ont créés sur le trombinoscope de la classe. La méthode de recueil de besoins a aussi permis de révéler d'autres types d'activités plus originaux tels que la **validation d'image**. Celle-ci permet de créer des activités en autonomie, en utilisant la RA pour valider automatiquement si l'image choisie est correcte. Par exemple, un professeur d'SVT au collège veut demander aux élèves d'assembler correctement les pièces d'une carte de la pangée. Un autre veut que les élèves identifient une partie spécifique d'une machine (ex: le moteur). L'activité de type **association de deux images** permet aussi de créer des activités en autonomie puisqu'elle fait apparaître une information si les élèves ont bien trouvé deux images associées. Par exemple, un enseignant du primaire veut que les enfants s'entraînent à reconnaître la même lettre, écrite en majuscule et en minuscule. Enfin, l'activité de type **superposition d'images** permet de faire apparaître des calques transparents sur une image. Par exemple, un professeur de géologie à l'université veut que les élèves soient capables d'activer ou de désactiver des couches montrant différents types de roches sur la photo d'une montagne. D'autres enseignants souhaitent utiliser ce type d'activité pour montrer les réponses à un exercice. Pour finir, l'analyse des prototypes papier a révélé que les enseignants souhaitent regrouper les activités présentées ci-dessus en **groupe d'activité**, sans ordre prédéfini, ou sous la forme d'un **parcours d'activités** ordonnées.

3.3 Prototypage itératif et évaluations préliminaires

Nous avons conçu trois prototypes de l'outil auteur MIXAP, sur une période de cinq mois. La dernière version est présentée dans la Figure 1. Nous avons décidé d'utiliser les technologies Web pour la RA pour faciliter l'adaptation aux différents dispositifs (tablettes, ordinateurs) disponibles dans les classes avec un fonctionnement en local qui ne nécessite pas d'Internet (une des contraintes techniques fortes identifiées). Ces prototypes ont été améliorés avec les enseignants pilotes (interfaces et textes descriptifs). Nous avons également testé l'application avec des élèves de maternelle qui ne savent pas encore lire pour améliorer le côté intuitif des interfaces. Nous avons également souhaité impliquer des enseignants non-pilote (NP) pour vérifier si les types d'activités identifiés par les enseignants pilotes (P) couvraient bien les besoins d'autres enseignants (section suivante).

4 Méthode: Évaluation de Mixap auprès des enseignants

Hypothèses : Nous examinons 7 hypothèses principales :

— *Utilisabilité* :

- **H1** : La facilité d'utilisation de MIXAP sera supérieure à la valeur médiane.
- **H2** : La facilité de prise en main de MIXAP sera supérieure à la valeur médiane.

- *Utilité* :
 - **H3** : L'utilité de MIXAP en termes de RA sera supérieure à la valeur médiane.
- *Acceptabilité* :
 - **H4** : Le ressenti émotionnel de MIXAP sera supérieur à la valeur médiane.
 - **H5** : La charge cognitive de MIXAP sera inférieure à la valeur médiane.
- *Transfert* :
 - **H6** : Il n'y aura pas de différences entre les enseignants P et NP, au niveau d'utilisabilité, utilité, ressenti émotionnel et charge cognitive.
 - **H7** : Il n'y aura pas de différences d'âge et de disciplines entre enseignants au niveau d'utilisabilité, utilité, ressenti émotionnel et charge cognitive.

Participants : Trente-neuf (N=39) enseignants [Age : 1 = 26-30, 1 = 31-35, 3 = 36-40, 15 = 41-45, 12 = 46-50, 7 > 50 ; disciplines : 22 = STEM, 7 = Non-STEM, 1 = Informatique, 9 = Autre]. Les enseignants sont réparti en deux groupes : le groupe P (pilote) avec 12 enseignants et le groupe NP (non-pilote) avec 27 enseignants non-familiers avec l'outil, recrutés dans le cadre d'une journée de formation professionnelle. Tous les enseignants ont volontairement participé à l'étude sans compensation et signé un accord d'utilisation des données produites pour la recherche.

Activités pédagogiques de RA : Les participants devaient créer quatre activités en RA : (1) annoter la page d'un livre avec des ressources multimodales, (2) afficher des informations pour une association de deux cartes, (3) valider un poster et (4) créer un groupe ou un parcours d'activités à partir des trois premières activités (voir ce lien).

Appareillage : MIXAP été installé sur 12 de nos tablettes (Samsung SM-X200, SM-T500, 11 pouces, 2G RAM, 32G DISQUE). Les enseignants avaient également à disposition un ensemble d'accessoires pour créer des ressources pour les activités : des cartes du jeu *Dixit*, des livres et des affiches.

Procédure : Nous avons (1) présenté l'étude et les quatre activités de RA aux participants ; (2) demandé aux participants de réaliser les quatre activités ; et (3) demandé aux participants de répondre à un questionnaire (voir ce lien).

Collecte et analyse des données : Nous avons recueilli 39 réponses au questionnaire. Pour l'utilisabilité (**H1-2**), nous avons utilisé les 10 questions du SUS [Q1-10] pour évaluer le score total du SUS ainsi que la facilité l'utilisation [Q1,2,3,5,6,7,8,9] et la facilité de prise en main [Q4,10] [4]. Le SUS est un instrument unidimensionnel, toutefois c'est possible d'explorer sa bidimensionnalité [9, 12]. Nous avons formulé une [Q15] pour évaluer l'utilité (**H3**) ainsi qu'une question ouverte [Q16] qui portait sur les usages pédagogiques que les enseignants souhaitent. Pour l'acceptabilité (**H4-5**), nous avons formulé [Q12,14] pour évaluer le ressenti émotionnel et [Q11,13] pour évaluer la charge cognitive. Pour le transfert (**H6-7**), nous avons analysé la variance des réponses vis-à-vis les facteurs Groupe, Disciple et Âge. À l'exception de la Q16, les questions étaient sur une échelle de Likert à 5 points. La valeur (Likert = 3, valeur "neutre") est la médiane.

5 Résultats

Nous rapportons à la fois les p-values pour la signification statistique et les tailles d'effet (faible : < 0,3, moyenne : 0,3 - 0,5, importante : > 0,5), avec un intervalle de confiance de 95%. Nous avons utilisé un test non paramétrique de Wilcoxon pour les tests à un échantillon. Nous avons utilisé des analyses factorielles pour l'analyse de la variance des réponses de Likert [20] au niveau des facteurs Groupe, Disciple et Âge.

Vue d'ensemble : Dans l'ensemble, presque tous les participants ont terminé les activités à peu près en même temps. La Figure 2 résume les réponses au questionnaire, ce qui met en évidence les réactions positives des participants envers l'outil.

Utilisabilité : Nous avons suivi [4, 12] et calculé les scores (de 0 à 100) pour le SUS [Q1-10], la facilité d'utilisation [Q1,2,3,5,6,7,8,9] et de prise en main [Q4,10]. Comme l'illustre Figure 3 (légende P_NP), le score moyen du SUS de tous les participants était de 73,91, ce qui est supérieur à la valeur standard du SUS de 68 points et est classé comme "bon." Un test de Wilcoxon à un échantillon a montré que les scores des enseignants étaient significativement supérieurs à 68 points, avec une taille d'effet moyenne pour le SUS total ($p = 0,015$, $r = 0,389$), une taille d'effet moyenne pour la facilité d'utilisation en main ($p = 0,049$, $r = 0,315$) et une taille d'effet importante pour la facilité de prise en main ($p = 0,009$, $r = 0,756$).

L'analyse par Groupe a montré que la différence n'était pas significative pour le SUS, avec une taille d'effet moyenne pour le groupe pilote (P) ($p = 0,107$, $r = 0,476$) et une tendance à la signification pour le groupe non-pilote (NP) ($p = 0,062$, $r = 0,360$). La différence dans la facilité d'utilisation n'était pas significative avec une taille d'effet moyenne pour les deux groupes : P ($p = 0,288$, $r = 0,318$) et NP ($p = 0,104$, $r = 0,314$). En revanche, la différence entre les groupes pour la prise en main était significative, avec une taille d'effet importante pour le groupe P ($p = 0,022$, $r = 0,756$) et une taille d'effet moyenne pour le groupe NP ($p = 0,022$, $r = 0,443$).

Utilité : Nous avons effectué un test de Wilcoxon à un échantillon pour évaluer si l'utilité [Q14] est supérieure à la valeur médiane de 3 (Figure 5, légende P_NP). Pour les données combinées, l'utilité n'est pas significative avec une taille d'effet faible ($p = 0,25$, $r = 0,186$). L'analyse par Groupe a montré que la différence dans l'utilité était significative pour le groupe pilote (P) avec une taille d'effet importante ($p = 0,043$, $r = 0,598$) et non significative pour le groupe non-pilote (NP) ($p = 0,684$, $r = -0,084$). Certains enseignants ont élaboré sur des nouvelles fonctionnalités qu'ils souhaitent avoir dans l'outil, comme, par exemple, une activité RA capable de reconnaître plusieurs images-marqueur automatiquement et d'afficher les augmentations, l'ajout de vidéo dans des fiches d'information, ou trouver des détails dans une

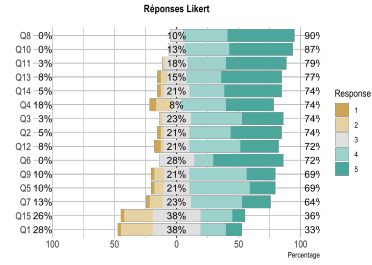


Fig. 2 – Réponses Likert.

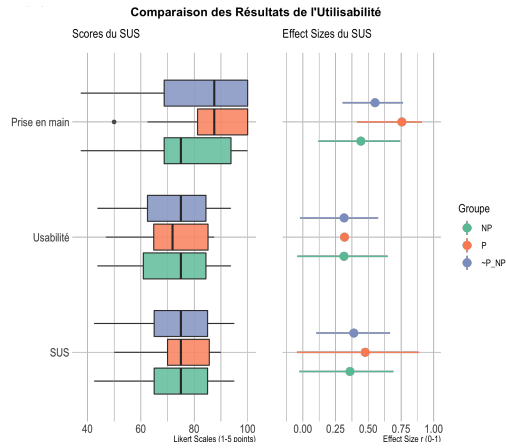


Fig. 3 – Utilisabilité : A gauche un boxplot avec la médiane, min-max et les outliers ; à droite les tailles d'effet avec l'intervalle de confiance à 95%.

grande image. D'autres ont élaboré sur des problèmes techniques tels que la précision, la stabilité ou la réactivité des augmentations. Ces éléments peuvent impacter l'utilité.

Acceptabilité : Comme illustré dans Figure 4, un test de Wilcoxon à un échantillon a montré les réponses likert étaient significativement différent de la médiane avec une taille d'effet importante pour le ressenti émotionnel [Q12,14] ($p < 0,001$, $r = 0,666$) et une taille d'effet importante (négative) pour la charge cognitive [Q11,13] ($p < 0,001$, $r = -0,827$). L'analyse par Groupe, a montré que la différence dans le ressenti émotionnel était significative avec une taille d'effet importante pour le groupe pilote (P) ($p < 0,0001$, $r = 0,814$) et non-pilote (NP) ($p < 0,0001$, $r = 0,631$). La charge cognitive était significativement inférieure à la valeur médiane de 3 avec une taille d'effet importante pour le groupe pilote (N) ($p < 0,0001$, $r = -0,898$) et non-pilote (NP) ($p < 0,0001$, $r = -0,825$).

Transfert : Nous avons effectué une analyse factorielle de la variance des réponses Likert via la procédure ART [20]. L'analyse a montré qu'il n'y a pas de différence significative dans les réponses entre les niveaux de la Catégorie : facilité d'utilisation, facilité de prise en main, utilité, ressenti émotion et charge cognitive ($p = n.s$) vis-à-vis du groupe ($p = 0,180$), de l'âge ($p = 0,889$) et de la discipline ($p = 0,520$).

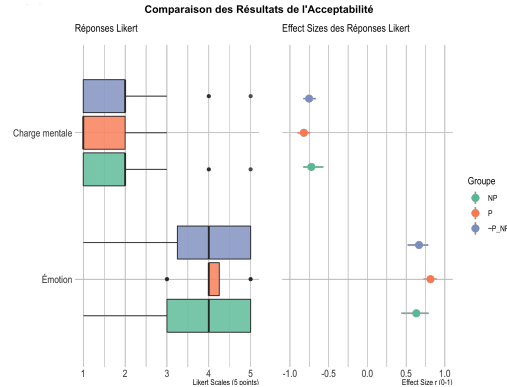


Fig. 4 – Acceptabilité : A gauche un boxplot avec la médiane, min-max et les outliers ; à droite les tailles d'effets avec l'intervalle de confiance à 95%.

6 Discussion

Impact de l'approche outil auteur : Les résultats présentés dans la section précédente permettent de valider un certain nombre de nos hypothèses. L'analyse des scores de SUS valide **H1**. La facilité de prise en main était très élevée, validant ainsi **H2**. L'utilisabilité de MIXAP est donc raisonnable et comparable entre les enseignants pilotes et non pilotes. De plus, les deux groupes ont réussi à créer les quatre activités en à peu près le même temps donc la courbe d'apprentissage de MIXAP est rapide. L'acceptabilité de l'outil est élevée puisque les participants ont montré des réactions positives (aussi observées lors des expérimentations) et leurs ressentis émotionnels étaient significativement forts, validant **H3**. Le fait d'avoir proposé des workflows et des interactions intuitives semble également avoir été utile puisque la charge cognitive était significativement faible, validant **H4**. Concernant le transfert, l'analyse factorielle de la variance n'a pas montré de différence significative entre les enseignants pilotes et non-pilotes, validant ainsi **H6** et **H7** ce qui montre que cette approche peut être bénéfique pour un public d'enseignant plus large. En revanche, l'utilité perçue était significativement élevée seulement pour le groupe pilote, ce qui valide partiellement **H5**. Dans nos prochaines itérations, nous allons donc creuser davantage les enjeux d'utilité en particulier des questions (1) d'appropriation et (2) de l'impact longitudinal de l'approche. Ce résultat sera certainement amélioré grâce aux vidéos tutorielles qui

seront associées à MIXAP et qui montreront les différentes activités pédagogiques qui peuvent être créées avec.

Design participatif d'outils auteurs de RA : Un outil auteur vise à offrir une palette de fonctionnalités pour créer des applications numériques, de façon intuitive, et qui répondent aux besoins d'une large audience. Dans ce sens, un design participatif avec des enseignants nous a permis d'identifier des besoins pédagogiques que nous avons pu transposer en petites briques de base pour créer des activités en RA d'une manière simple. L'analyse du transfert a montré que cette approche est viable. En effet, même si l'outil a été conçu que sur l'analyse de besoin de 19 enseignants pilotes, l'évaluation avec 27 enseignants non-pilotes a montré qu'il n'y avait pas de différence entre les enseignants pilotes et non-pilotes, sauf au niveau de l'utilité perçue.

Cela dit, l'approche participative pose aussi certains défis. Arriver à agréger des besoins variés sans pour autant complexifier l'outil peut s'avérer être une tâche difficile. Il a été nécessaire de faire des choix dans la sélection, la validation et même le rejet de certains besoins (ex. des besoins spécifiques à un contexte d'usage ou qui ne répondent pas à des besoins communs ou risquent de complexifier l'outil pour la majorité des enseignants). Ces choix ont été discutés avec les enseignants pilotes. Certains enseignants peuvent tout de même avoir du mal à identifier leurs besoins dans l'outil —tels qu'ils les avaient exprimés, ce qui pourrait impacter négativement leur perception envers l'utilité de l'outil. Notre analyse de l'utilité supporte ce point. Certains enseignants n'ont pas identifié leurs besoins dans l'outil d'une manière explicite. Un outil auteur demande un effort d'appropriation pour adapter ses fonctionnalités afin de répondre à des besoins personnels.

Conception d'activités pédagogiques en RA : Au-delà des aspects techniques, la création d'activités en RA par les enseignants pose une certaine difficulté cognitive. Cette difficulté vient du fait que les enseignants ont peu de familiarité avec la création de contenu en RA. Ce type de productions n'est pas encore habituel, comparé, par exemple, aux productions multimédias via *Powerpoint*. Les enseignants peuvent avoir du mal à élaborer des activités pédagogiques en RA ou à adapter leurs activités traditionnelles. Même si un outil auteur enlève la barrière technique, les enseignants ont donc besoin d'accompagnement pour comprendre comment concevoir des activités pédagogiques avec ce nouvel outil.

Potentiellement, une bibliothèque d'activités pédagogiques où les enseignants peuvent trouver, créer et partager des activités de RA pourrait aider à relever les défis susmentionnés. Notre approche va dans ce sens puisque MIXAP propose déjà une fonctionnalité importante qui permet de créer des copies d'activités créées par d'autres enseignants et de les modifier. Ce partage de ressources intéresse d'ailleurs beaucoup les enseignants pilotes qui ont naturellement trouver l'inspiration dans les idées de leurs collègues. Cette évolution peut être constatée en comparant leurs fiches projets initiales et les projets finaux auxquels ils aboutissent.

Limitations : La taille de notre échantillon (N=39) est relativement faible. Une analyse de la qualité des créations des enseignants et aussi des outliers manque. Un autre aspect important qui manque et qui peut améliorer l'appropriation des outils de création de RA par les enseignants est les learning analytics (par exemple, les tableaux de bord). Nous pensons que le fait de fournir aux enseignants des informations sur les expériences des apprenants, telles que l'état émotionnel [26, 24] et la progression et l'engagement [7] peut les aider à mieux approprié la RA en classes.

7 Conclusion

La RA offre un environnement intéressant pour faciliter un apprentissage multimodal, immersif et engageant. Cependant, la création d'activités en RA est loin d'être une tâche facile. Nous avons examiné une approche d'"outil auteur" pour rendre la RA moins technique et plus accessible aux enseignants (non-informaticiens). Nous avons présenté notre processus pour concevoir MIXAP dans une démarche de design itératif et participatif avec des enseignants pilotes. Nous avons évalué notre approche auprès de 39 participants. Les résultats sont très encourageants pour creuser davantage cette approche, notamment l'analyse de l'usage, l'appropriation et les activités créées par les enseignants dans leurs classes. Nous espérons que ce travail fournira aux chercheurs et aux concepteurs des idées de design et d'usage d'outils auteurs et aidera à la démocratisation de la RA en éducation.

Remerciement

Nous remercions le programme étoiles montantes des Pays de la Loire, France, pour le financement du projet de recherche MIXAP. Nos remerciements spéciaux vont aux enseignants, notamment aux pilotes : Annabel Le GOFF, Camille POQUET, Damien DUMOUSSET, Delphine DESHAYES, Elisabeth PLANTE, Frederic LLANTE, Laurent HUET, Nicolas JOUDIN, Tony NEVEU, Vanessa FROC, Yannick GOURDIN, Régis MOURGUES, Morgane ACOU-LE NOAN et Adeline JAN.

References

1. Akçayır, M., and Akçayır, G.: Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review* 20, 1–11 (2017)
2. Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, Ş., and Yilmaz, R.M.: Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education* 142, 103647 (2019)
3. Billingham, M., and Duenser, A.: Augmented Reality in the Classroom. *Computer* 45(7), 56–63 (2012)
4. Brooke, J., *et al.*: SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry* 189(194), 4–7 (1996)
5. Da Costa, J., Szilas, N., and Mueller, A.: Réalité augmentée pour l'apprentissage conceptuel en sciences: quels principes de conception pour les EIAH? Cas du dispositif DEAPE Learn en électromagnétisme. In: *Actes de la 9ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, pp. 181–192 (2019)
6. Dengel, A., Iqbal, M.Z., Grafe, S., and Mangina, E.: A Review on Augmented Reality Authoring Toolkits for Education. *Frontiers in Virtual Reality* 3 (2022)
7. Ez-zaouia, M., Tabard, A., and Lavoué, E.: PROGDASH: Lessons Learned from a Learning Dashboard In-the-wild. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education - Volume 2: CSEDU*, pp. 105–117 (2020)
8. Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., and Pavón, J.: How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review* 31, 100334 (2020)

9. Gronier, G., and Baudet, A.: Psychometric evaluation of the F-SUS: Creation and validation of the French version of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction* 37(16), 1571–1582 (2021)
10. Hincapie, M., Diaz, C., Valencia, A., Contero, M., and Güemes-Castorena, D.: Educational applications of augmented reality: A bibliometric study. *Computers & Electrical Engineering* 93, 107289 (2021)
11. Ibáñez, M.-B., and Delgado-Kloos, C.: Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education* 123, 109–123 (2018)
12. Lewis, J.R., and Sauro, J.: The factor structure of the system usability scale. In: *International conference on human centered design*, pp. 94–103 (2009)
13. Lieberman, H., Paternò, F., Klann, M., and Wulf, V.: *End-user development: An emerging paradigm*. (2006)
14. Marfisi, I.: *Teachers Paper-prototyping Augmented Reality Activities for Classroom Use*. Mendeley Data (2022)
15. Mota, R.C., Roberto, R.A., and Teichrieb, V.: [POSTER] Authoring Tools in Augmented Reality: An Analysis and Classification of Content Design Tools. In: *2015 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 164–167 (2015)
16. Nebeling, M., and Speicher, M.: The Trouble with Augmented Reality/Virtual Reality Authoring Tools. In: *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 333–337 (2018)
17. Radu, I.: Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing* 18(6), 1533–1543 (2014)
18. Roopa, D., Prabha, R., and Senthil, G.: Revolutionizing education system with interactive augmented reality for quality education. *Materials Today: Proceedings* 46, 3860–3863 (2021)
19. Shams, L., and Seitz, A.R.: Benefits of multisensory learning. *Trends in cognitive sciences* 12(11), 411–417 (2008)
20. Wobbrock, J.O., Findlater, L., Gergle, D., and Higgins, J.J.: The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 143–146 (2011)
21. Xiao, M., Feng, Z., Yang, X., Xu, T., and Guo, Q.: Multimodal interaction design and application in augmented reality for chemical experiment. *Virtual Reality & Intelligent Hardware* 2(4), 291–304 (2020)
22. Yang, K., Zhou, X., and Radu, I.: *XR-Ed Framework: Designing Instruction-driven and Learner-centered Extended Reality Systems for Education*. (2020)
23. Ez-Zaouia, M.: Teacher-centered dashboards design process. In: *2nd International Workshop on eXplainable Learning Analytics, Companion Proceedings of the 10th International Conference on Learning Analytics & Knowledge LAK20* (2020)
24. Ez-Zaouia, M., and Lavoué, E.: EMODA: A tutor oriented multimodal and contextual emotional dashboard. In: *Proceedings of the seventh international learning analytics & knowledge conference*, pp. 429–438 (2017)
25. Ez-Zaouia, M., Marfisi-Schottman, I., Oueslati, M., Mercier, C., Karoui, A., and George, S.: A Design Space of Educational Authoring Tools for Augmented Reality. In: *International Conference on Games and Learning Alliance*, pp. 258–268 (2022)
26. Ez-Zaouia, M., Tabard, A., and Lavoué, E.: EMODASH: A dashboard supporting retrospective awareness of emotions in online learning. *International Journal of Human-Computer Studies* 139, 102411 (2020)