



Usage des technologies immersives (réalité virtuelle, augmentée et vidéo 360) dans l'enseignement supérieur

Use of Immersive Technologies (Virtual and Augmented Reality and 360 Video) in Higher Education

El uso de tecnologías inmersivas (realidad virtual, aumentada y vídeo 360°) en educación superior

<https://doi.org/10.52358/mm.vi15.330>

François Lewis, doctorant
Université TÉLUQ, Canada
lewis.francois@univ.teluq.ca

Gustavo Adolfo Angulo Mendoza, professeur
Université TÉLUQ, Canada
gustavo.adolfo.angulo.mendoza@teluq.ca

Caroline Brassard, professeure
Université TÉLUQ, Canada
caroline.brassard@univ.teluq.ca

Patrick Plante, professeur
Université TÉLUQ, Canada
patrick.plante@univ.teluq.ca

RÉSUMÉ

Les applications pédagogiques qui font usage des technologies immersives sont de plus en plus présentes dans les établissements d'enseignement supérieur. Nous croyons ainsi qu'il est pertinent de faire le point sur l'impact de ces technologies virtuelles sur le transfert de connaissances aux apprenants ainsi que sur les limites et les risques inhérents à leurs usages.



Cette revue de littérature a pour objectif de dresser l'état actuel des connaissances en technologies virtuelles modernes appliquées à l'éducation supérieure. Nous nous intéressons particulièrement à la réalité virtuelle (RV) et à la vidéo 360 qui font usage d'un casque autonome « head-mounted display » (HMD), ainsi qu'aux applications en réalité augmentée (RA) qui emploient des lunettes assistées comme périphérique. Les résultats permettront d'identifier les attributs et mécanismes reliés aux applications virtuelles, et de décrire leurs avantages et leurs limites pour l'apprentissage. Nous avons eu recours à la méthode EPPI (*Evidence for Policy and Practice Information and Co-ordinating*), pour effectuer cette revue de littérature. Le sommaire des données recueillies est regroupé dans cinq thèmes : 1) conception et intégration de la dimension pédagogique; 2) théories et concepts; 3) méthodologies d'évaluation; 4) motivation et 5) collaboration.

Mots-clés : technologie immersive, réalité virtuelle, réalité augmentée, vidéo 360, enseignement supérieur

ABSTRACT

Educational applications using immersive technologies are increasingly present in higher education institutions. However, we believe that it is relevant to review the impact of virtual technologies on the transfer of knowledge to learners as well as the risks and limits inherent to their use. This literature review aims to provide an overview of the current knowledge of modern virtual technologies in higher education. Specifically, we focus on virtual reality (VR) and 360 video that use an autonomous head-mounted display (HMD), as well as augmented reality (AR) applications that use assisted glasses as peripherals. The results allow us to identify the attributes and mechanisms related to virtual applications and describe their advantages and limitations for learning. We used the EPPI (*Evidence for Policy and Practice Information and Co-ordinating*) method for this literature review. The summary of the data collected is grouped into five themes: (1) design and integration of the pedagogical dimension; (2) theories and concepts; (3) evaluation methodologies; (4) motivation; and (5) collaboration.

Keywords: immersive technology, virtual reality, augmented reality, 360 video, higher education

RESUMEN

Las aplicaciones educativas que emplean tecnologías inmersivas están cada vez más presentes en las instituciones de educación superior. Sin embargo, creemos que es relevante hacer un balance del impacto de estas tecnologías virtuales en la transferencia de conocimiento a los estudiantes, así como de los riesgos y límites inherentes a su uso. Esta revisión de la literatura tiene como objetivo proporcionar una visión general del estado actual del conocimiento sobre las tecnologías virtuales modernas en educación superior. Estamos particularmente interesados en la realidad virtual (RV) y en el vídeo de 360°, que utilizan un casco HMD, así como las aplicaciones de realidad aumentada (RA), que usan gafas asistidas como periféricos. Los resultados nos han permitido identificar los atributos y mecanismos relacionados con las aplicaciones virtuales, así como sus ventajas y limitaciones para el aprendizaje. Utilizamos el método EPPI (*Evidence for Policy and Practice Information and Co-ordinating*) para llevar a cabo esta revisión bibliográfica. El resumen de los datos recopilados



se agrupa en cinco temas: (1) diseño e integración de la dimensión pedagógica; (2) teorías y conceptos; (3) metodologías de evaluación; (4) motivación y (5) colaboración.

Palabras clave: tecnologías inmersivas, realidad virtual, realidad aumentada, vídeo de 360°, educación superior

Introduction

L'objectif de la recension des écrits est de faire le point sur la situation actuelle du domaine de connaissance des technologies immersives consacrées à l'enseignement supérieur, afin d'approfondir nos connaissances et d'apporter des éléments de réponse à notre réflexion. Pour circonscrire cette étude, nous avons ciblé les publications explorant les applications pédagogiques virtuelles immersives qui font usage comme périphérique informatique d'un casque autonome de type HMD ou de lunettes assistées.

Dans le but de simplifier la lecture de notre étude, nous commençons par spécifier l'objet de recherche en décrivant les particularités des technologies immersives analysées. Par la suite, nous définissons la terminologie utilisée. La méthode est présentée et les informations recueillies lors de la lecture des articles sont regroupées et présentées par thème, soit la conception et l'intégration de la dimension pédagogique, les théories et concepts, les méthodologies d'évaluation, la motivation et la collaboration.

L'étude présente par la suite un sommaire des avantages, des risques et des limites identifiés, ainsi qu'une critique des informations analysées. Finalement, nous terminons ce travail par la formulation de nouvelles questions de recherche et de commentaires de nature réflexive.

Problématique

Les technologies virtuelles modernes dites immersives sont de plus en plus présentes dans les établissements d'enseignement supérieur. Or, l'intégration de ces technologies dans les établissements fait face à de nombreux défis, notamment quant aux compétences technopédagogiques nécessaires au développement d'une application virtuelle originale et aux coûts élevés qui sont associés à l'acquisition et à l'implantation de ces technologies. Ces enjeux sont importants et représentent des obstacles pour engager les directions d'établissement à développer et à intégrer leurs propres applications informatiques, mais des initiatives d'intégration des technologies immersives sont de plus en plus présentes et documentées par la recherche.

Au départ, il est approprié de bien définir l'objet de recherche, puisque les technologies immersives se différencient sur plusieurs aspects. De plus, Radianti *et al.* (2020) mentionnent que les termes utilisés dans ce domaine ne sont pas consensuels.

Trois technologies immersives sont analysées dans cette étude : la réalité virtuelle (RV), la réalité augmentée (RA) et la vidéo 360. De plus, toutes les études sélectionnées tirent profit soit d'un casque autonome de type *head-mounted display* (HMD) utilisé dans les applications en RV et les vidéos 360, soit



de lunettes assistées pour les applications en RA. L'utilisation d'un casque en RV n'est pas nouvelle, toutefois elle est devenue fréquente depuis l'arrivée sur le marché des produits grand public plus légers et abordables, notamment les casques Oculus Rift, Oculus Quest ou encore HTC Vive pro. Ces casques modernes permettent la connexion Bluetooth à un téléphone intelligent ou à un ordinateur et offrent la liberté de mouvement pour les usagers. En revanche, les lunettes assistées en RA n'ont pas suivi la même trajectoire : elles demeurent dispendieuses et sont principalement destinées aux professionnels.

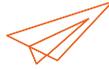
Les technologies observées ont des caractéristiques et des fonctionnalités différentes. Premièrement, Wang *et al.* (2018) font remarquer que la RV avec un casque HMD est la technologie la plus immersive, puisqu'elle se définit par un univers entièrement conçu avec des objets irréels et numériques qui déconnecte l'utilisateur du monde réel. Dans le même sens, Somrak *et al.* (2019) indiquent que la sensation d'immersion est de plus en plus accentuée par l'usage des casques HMD et des interfaces secondaires, notamment des gants, des vestes haptiques, des systèmes de suivi des yeux, etc.

Dans un univers créé en RA, on peut superposer des informations par l'entremise de lunettes assistées (Loh et Misselhorn, 2020). Gellweiler et Krishnamuthi (2020) ajoutent que la RA élargit la perception des usagers, mais est moins immersive que la RV. La RA est très exploitée dans plusieurs domaines d'enseignement, notamment par la médecine, l'archéologie, la muséologie, l'ingénierie et les sciences (Altinpulluk, 2019).

Quant à la vidéo 360 associée à un casque HMD, elle permet à une personne de s'immerger à l'intérieur d'une scène réelle ou artificielle. Cette technologie permet d'explorer, de manière interactive, des sites éloignés comme des musées ou des univers créés virtuellement, et même d'assister en temps réel à une opération chirurgicale, des commandes permettant de modifier la perspective d'observation.

Plusieurs auteurs (Aljohaney, 2019; Blair *et al.*, 2021; Issleib *et al.*, 2021) mentionnent les avantages que représentent les technologies virtuelles en éducation, notamment sur l'augmentation de la motivation et l'amélioration de la compréhension de concepts abstraits. En revanche, d'autres comme Rodríguez-Abad *et al.* (2021) et Sultan *et al.* (2019) sont critiques sur les avantages des technologies immersives. En outre, le manque d'études systématiques ne permet pas d'évaluer les effets de ces technologies sur l'efficacité du transfert de connaissances (Butti *et al.*, 2020).

Ainsi, nous croyons pertinent d'interroger plusieurs aspects de ce domaine de connaissances. Quels sont les attributs et les mécanismes reliés aux applications virtuelles? Comment et sur quelles bases se réalisent les recherches à ce sujet? Quels sont leurs avantages et leurs limites pour l'apprentissage?



Méthodologie de la revue de littérature

La méthodologie utilisée se divise en trois étapes. Premièrement, nous effectuons une analyse des documents selon le processus *Evidence for Policy and Practice Information and Co-ordinating* (EPPI-Center, 2010)¹. Cette méthode systématique permet d'identifier et de représenter fidèlement les faits décrits dans les études retenues (tableau 1).

Par la suite, nous regroupons le sommaire des informations recueillies par thème : conception et intégration de la dimension pédagogique, théories et concepts, méthodologies d'évaluation, motivation et collaboration. Finalement, nous présentons un sommaire des avantages et des limites qui émergent quant à la conception et à l'usage des technologies immersives en enseignement supérieur.

Tableau 1

Étapes du processus de recension EPPI

1. Définir la question de recherche
2. Choisir les bases de données pertinentes
3. Choisir les descripteurs (*thesaurus terms*) pour chaque base de données
4. Définir les critères d'insertion
5. Effectuer la recherche systématique
6. Importer les résultats
7. Analyser sommairement et choisir les articles sélectionnés

Le déroulement de sélection des articles

Au départ, 29 bases de données, qui sont offertes dans l'outil de recherche Sofia, ont été choisies. Par la suite, les bases de données ont été interrogées avec les expressions de recherche suivantes :

[(Réalité virtuelle OU Virtual reality) ET (Higher education OU Enseignement supérieur)]

[(Réalité augmentée OU Augmented reality) ET (Higher education OU Enseignement supérieur)]

[(Vidéo 360 OU 360 video) ET (Higher education OU Enseignement supérieur)]

Les articles devaient avoir été publiés de 2018 à 2022 (puisque les premiers résultats des études qui font usage de casques HMD remontent à 2018) et être disponibles en langue anglaise ou française. Au total, 3409 publications sans doublon ont été identifiées (voir tableau 2).

¹ Récupéré du site EPPI-Centre : <https://eppi.ioe.ac.uk/cms/>



Tableau 2

Nombre d'articles répertoriés à partir des bases de données identifiées

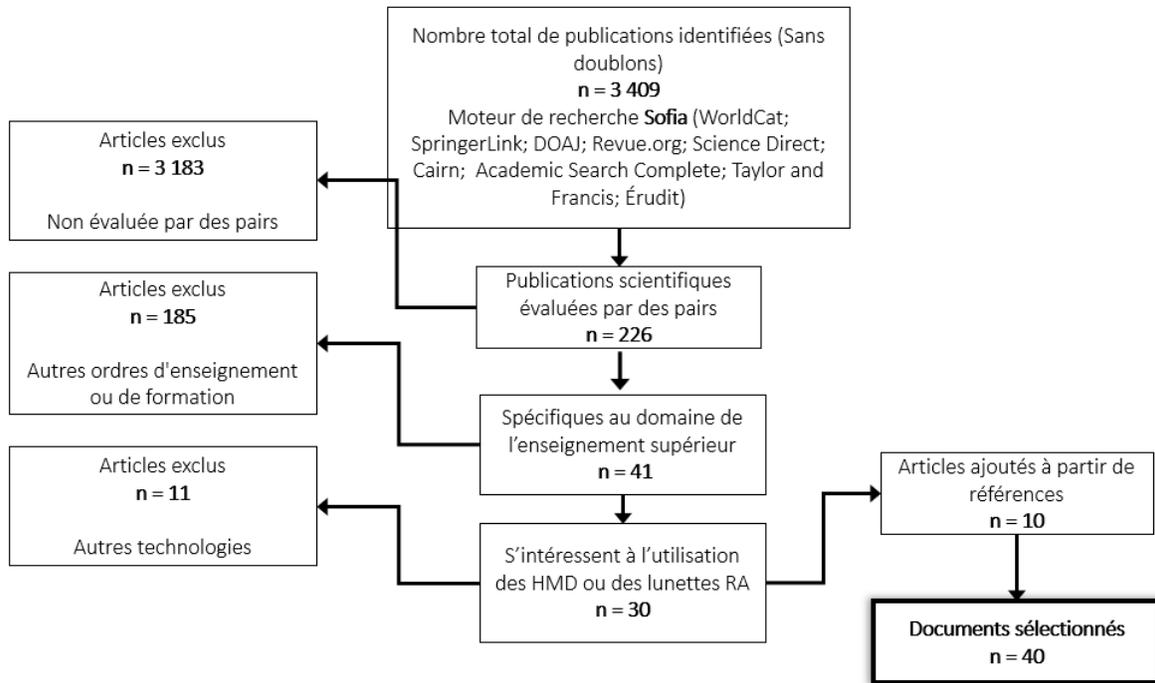
<i>Base de données</i>	<i>Nbre d'articles</i>
WorldCat.org	2266
SpringerLink	780
Directory of Open Access Journals	19
Revue.org	36
ScienceDirect	95
Cairn.info Magazines	48
Academic Search Complete	41
Taylor and Francis Journals	28
Érudit	96
	3409

Suivant le processus représenté dans la figure 1, le nombre total de 3409 articles a été restreint selon les critères d'exclusion indiqués. En premier lieu, nous limitons la recension aux publications scientifiques évaluées par des pairs, ce qui réduit le corpus à 226. Ensuite, nous ne retenons que les articles en contexte postsecondaire ainsi que ceux qui décrivent l'intégration de la dimension pédagogique. Pour ce critère, nous avons sélectionné les études à la lecture des titres et des résumés, réduisant ainsi le nombre d'articles à 41. Parmi ce nombre, nous avons sélectionné les articles analysant des expériences où était utilisé un casque autonome de type HMD ou des lunettes assistées, ce qui a réduit le nombre d'articles à 30. Nous annexons 10 articles liés aux théories du domaine et qui apportent une valeur ajoutée. Enfin, le nombre total d'articles sélectionnés se limite à 40.



Figure 1

Processus de sélection d'articles selon les critères d'exclusion



Notons que 28 % des articles retenus proviennent de deux pays : la Chine (6) et les États-Unis (5). Le reste se répartit comme suit : Europe (16), Moyen-Orient (4), Asie (4), Amérique (4) et Océanie (1) (voir tableau 3).

Tableau 3

Cartographie des études sélectionnées

Région	Occurrences
Amérique	9
Asie	10
Europe	16
Moyen-Orient	4
Océanie	1



Résultats

Lors de la sélection des études, nous nous sommes concentrés sur les articles qui apportent des éléments de réponse à la question de recherche, par l'identification et l'analyse des liens observés, dans le but d'établir les convergences et les divergences entre les auteurs. Nous nous sommes intéressés à ceux qui présentent les étapes de la conception et de l'intégration des composantes éducatives, ainsi que ceux qui décrivent la méthode que les auteurs ont employée pour évaluer la capacité de transfert des connaissances et d'acquisition de nouvelles compétences. Les assises théoriques et conceptuelles des recherches ont également été observées, de même que deux facteurs importants en éducation, soit la motivation et la collaboration. À cette fin, les données recueillies dans les articles sont regroupées dans les cinq thèmes mentionnés. Nous énumérons par la suite les limites et avantages inhérents aux applications.

Conception et intégration de la dimension pédagogique

Vingt-six (26/40) articles se penchent sur la conception et l'intégration de la dimension pédagogique dans des applications immersives. Les applications mentionnées sont diversifiées; on les retrouve dans les domaines médical, artistique, historique et archéologique, notamment pour effectuer des visites virtuelles de musées ou de sites anciens éloignés (Hodgson *et al.*, 2019). De même, les applications sont présentes en astronomie pour l'observation de l'infiniment grand et dans le domaine des sciences pures et appliquées, pour l'observation par exemple de phénomènes qui ne sont pas visibles à l'œil nu. Les chercheurs priorisent également les applications virtuelles pour la compréhension de sujets complexes et abstraits.

CONSIDÉRATIONS PÉDAGOGIQUES

Les concepteurs d'applications pédagogiques doivent mettre l'accent sur le transfert de connaissances et de compétences (Lewis *et al.*, 2021). Comme le font remarquer Radianti *et al.* (2020), les applications pédagogiques en RV sont rares et peu d'entre elles sont fondées sur des théories de l'apprentissage. Les applications sont plutôt concentrées sur des connaissances procédurales et la pratique de manipulations précises (Altinpulluk, 2019). Radianti *et al.* (2020) indiquent que les concepteurs doivent appliquer les principes efficaces pour l'apprentissage dans les applications immersives. Entre autres, un bon apprentissage exige que les apprenants soient actifs et pas seulement des destinataires passifs (Ke *et al.*, 2020). Dans ce contexte, ils seraient judicieux de concevoir un protocole et une procédure pour la conception des applications pédagogiques immersives (Radianti *et al.*, 2020). Chang *et al.* (2019) insistent sur l'importance d'un partenariat entre éducateurs et concepteurs d'apprentissage. La synergie est essentielle pour intégrer le matériel pédagogique dans une application immersive adaptée aux besoins des apprenants et qui maximise le transfert de connaissances. De plus, Hodgson *et al.* (2019) font remarquer qu'il est efficace de faire participer les apprenants lors de la conception de l'application, notamment pour valider l'ergonomie de l'interface.

La conduite d'un projet technopédagogique doit suivre une démarche de gestion de projet des plus rigoureuse. Il est essentiel de définir des objectifs pédagogiques et de tenir compte de la charge cognitive associée au média qu'on prévoit d'intégrer. Selon İbili (2019), la charge cognitive est un facteur essentiel à prendre en considération lors de la conception des applications immersives. Il faut éviter une charge cognitive élevée en planifiant les activités d'apprentissage de manière progressive. Par exemple,



l'application réalisée par Danny *et al.* (2018) pour l'apprentissage de la microchirurgie des cataractes est divisée en quatre modules avec différents niveaux de difficulté. Les modules sont fondés sur les connaissances nécessaires aux transferts de compétences et d'habiletés liées à la tâche. De plus, on peut intervenir au départ pour minimiser certains risques associés aux applications immersives. Leung et Hon (2019) indiquent qu'il est opportun lors de la conception de réduire les effets du « mal du transport » causé par des actions stimulées virtuellement, entre autres en familiarisant les usagers graduellement et par la réduction de la vitesse de rotation dans les mouvements.

DÉVELOPPEMENT ET LOGICIELS ASSOCIÉS

Un certain nombre d'articles présentent des systèmes auteurs qui permettent aux enseignants de développer des applications simplement. Par exemple, le programme de recherche de Chang *et al.* (2019) est fondé sur une plateforme qui permet aux enseignants de développer des applications virtuelles. La plateforme offre des outils innovants de création de contenu virtuel, de modules de formation et de collaboration pour les enseignants et les apprenants. Liangfu (2021), pour sa part, fait usage d'une plateforme pédagogique interactive pour la conception d'applications en RV. La plateforme conçoit des images et des animations vidéo de qualité à l'aide des moteurs 3ds Max et Unity.

Quelques chercheurs partagent en libre accès les produits de leurs recherches tels que l'application médicale sur la dissection humaine Dynamic Anatomy développée par Bogomolova *et al.* (2020). Ke *et al.* (2020) emploient la plateforme du serveur virtuel en libre accès Open Simulator pour développer leur application en formation pédagogique. Bonenberger *et al.* (2018) ajoutent qu'il est réalisable de développer une application avec la technologie WebBased, ce qui permettrait d'utiliser une multitude de systèmes d'exploitation, entre autres Windows, iOS et Android. L'objectif est d'économiser du temps lors de la conception d'une application pédagogique, en réutilisant les éléments structurants. Selon Bonenberger *et al.*, il est pertinent d'utiliser une plateforme Web Assembly, notamment le Web RTC qui est une interface de programmation JavaScript développée pour permettre la communication en temps réel en audio et/ou en vidéo, dans des pages Web.

Les technologies employées pour la conception d'applications immersives sont variées. Les logiciels les plus cités pour le développement des applications sont les moteurs de jeu Unity, Leap Motion et Vuforia. Toutefois, la maîtrise de ces logiciels demeure complexe et n'est pas à la portée de tous les enseignants. De plus, selon Maas et Hughes (2020), la conception d'une application immersive demeure dispendieuse.

RÉALITÉ VIRTUELLE

Trois études s'intéressent à des dispositifs exploitant un casque HMD Oculus Rift (Han *et al.*, 2021; Paszkiewicz *et al.*, 2021 et Xie *et al.*, 2019). Han *et al.* (2021) ont développé et évalué une application médicale en RV pour l'enseignement des examens neurologiques. Les chercheurs expliquent que l'application permet à l'enseignant de modifier les paramètres spécifiques au type d'atteinte neurologique, tels que la taille de la pupille, les mouvements oculaires ou une déficience auditive. Selon Han *et al.*, pour effectuer un examen neurologique sur un patient virtuel, les apprenants portent un casque HMD, sélectionnent un ordre verbal sur le côté gauche de l'écran, puis choisissent sur le côté droit de l'écran l'outil neurologique adéquat (Han *et al.*, 2021) (figure 2).



Figure 2

Interface des lunettes HMD pour l'application médicale



Note. Han *et al.* (2021, figure 1). Sous licence CC-BY 4.0.

L'application de Paszkiewicz *et al.* (2021) simule une procédure pour éteindre un incendie dans une usine, figure 3 (Paszkiewicz *et al.*, 2021). La tâche la plus complexe est de sélectionner l'extincteur approprié parmi trois classes d'extincteurs. Paszkiewicz *et al.* indiquent qu'au départ une formation à l'utilisation de la RV a été réalisée. La formation consistait à apprendre les principes de mouvement dans l'univers virtuel et le fonctionnement du contrôleur. Par la suite, chacun des participants devait effectuer successivement l'ensemble des exercices, c'est-à-dire arrêter la machine, localiser et sélectionner l'extincteur approprié, l'atteindre, le sortir de la boîte et éteindre le feu, sans changer les étapes et sans l'intervention d'un instructeur.

Xie *et al.* (2019) ont conçu une application en RV, comme un jeu vidéo en 3D. L'application simule la procédure pour l'entretien des turbines de moteur d'avion. Xie *et al.* précisent que le mouvement des mains est reproduit avec l'aide du logiciel Leap Motion. Les auteurs mentionnent que l'unité pédagogique se compose de trois éléments : une introduction au domaine, un tutoriel théorique sur les différents éléments qui composent une turbine, et finalement un module pour démonter et assembler les éléments de l'engin. Les exercices de chaque module sont fondés sur les manuels d'entretien des manufacturiers.



Figure 3

Interface pour le choix d'un extincteur



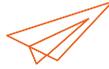
Note. Source : Paszkiewicz *et al.* (2021, figure 3). Sous licence CC-BY 4.0.

RÉALITÉ AUGMENTÉE

Selon Rodríguez-Abad *et al.* (2021), les logiciels les plus utilisés pour développer les applications en RA sont le moteur de jeu Unity associé à Vuforia. Les périphériques d'interface les plus utilisés sont les lunettes assistées HoloLens de Microsoft. On retrouve cette combinaison technologique dans les articles de Loh et Misselhorn (2020), de Tang *et al.* (2020) et de Wang *et al.* (2018).

L'étude de Loh et Misselhorn (2020) fait des expériences qui portent sur la conduction thermique des métaux. À l'aide des informations qui sont superposées à travers les lentilles des lunettes HoloLens, l'apprenant peut reconnaître le moment du transfert de chaleur. Les lunettes HoloLens modifient la couleur sur la tige de métal lorsque la chaleur requise est atteinte. L'affichage des lunettes assistées est transparent, les objets virtuels ne sont que superposés électroniquement aux éléments réels. Cela signifie qu'il n'y a aucun problème de traitement dans l'affichage du monde physique, car aucune caméra n'est nécessaire.

La recherche de Tang *et al.* (2020) évalue l'efficacité de la RA pour l'apprentissage de la conception industrielle selon la créativité des apprenants dans un cours de design. Tang *et al.* ajoutent que les lunettes HoloLens permettent de superposer du contenu numérique ou des modèles de construction autodéveloppés avec un environnement réel tel qu'un mur, une table ou d'autres objets. Wang *et al.* (2018) présentent des études de cas sur la conception d'application pédagogique qui font usage de la RA, notamment dans un cours de robotique et un cours en ingénierie.



L'étude de Ille *et al.* (2021) emploie la représentation d'un cerveau réel en 3D d'un patient qui a subi une microchirurgie. Le logiciel en RA utilise des lunettes Google pour faire apparaître l'image du cerveau et des données essentielles pour effectuer un diagnostic.

APPROCHE MIXTE

Plusieurs articles mentionnent une combinaison de logiciels et de périphériques. Par exemple, l'application de Nijman *et al.* (2019) permet aux personnes souffrant de troubles psychotiques de pratiquer la reconnaissance des émotions faciales en mode virtuel. Nijman *et al.* indiquent que l'univers de l'application est immersif et s'affiche dans un casque HMD Oculus Rift. Les participants explorent et interagissent avec l'environnement virtuel à l'aide d'une manette de commande. Chang *et al.* (2019) décrivent une application conçue avec le moteur de jeu Unity qui représente un système terrestre en 3D pour l'apprentissage des sciences de la terre. Cette application permet à l'apprenant de modifier certains paramètres avec une télécommande sans fil et d'observer l'environnement. Chen *et al.* (2020) utilisent plutôt le moteur de jeu Unreal Engine associé au casque HMD, dans une application médicale qui consiste à évaluer l'efficacité pédagogique d'un modèle de crâne en RV par rapport au modèle d'enseignement traditionnel utilisant un crâne de cadavre humain. Chen *et al.* ajoutent que la dimension pédagogique de l'application est fondée sur la numérisation en 3D de squelettes humains qui sont utilisés dans des facultés de médecine.

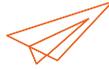
Dans l'article de Katz *et al.* (2020), l'application utilise un casque Samsung RV intégré au logiciel de réalité mixte de Windows. L'étude de Katz *et al.* examine l'utilité d'un système entièrement immersif basé sur la RV pour augmenter les compétences d'une formation avancée en réanimation cardiaque, et le compare avec la méthode de la simulation haute-fidélité traditionnelle (HFS). Katz *et al.* indiquent que le module a été conçu selon la méthode de simulation traditionnelle. Le participant, dans le rôle de chef d'équipe, prend soin d'un patient en situation critique dans une salle de radiologie. L'application en RV utilise des commandes vocales et offre l'opportunité de déléguer des tâches à une équipe virtuelle. L'application en VR était financièrement rentable, puisqu'elle permet de faciliter l'évaluation de l'apprentissage; cependant, la méthode HFS était supérieure pour livrer la rétroaction aux participants.

L'application de l'étude de Du *et al.* (2020) a été conçue comme un casse-tête avec le logiciel Autodesk 3ds Max et le moteur de jeu Unity. Les apprenants devaient identifier et reconstruire 25 muscles et 25 os du corps humain à l'aide d'un casque HMD HTC Vive, de 2 contrôleurs et de 2 émetteurs laser infrarouges.

La recherche de Saredakis *et al.* (2020) fait usage d'une vidéo 360 en RV avec YouTube VR pour la lecture et un casque HMD Oculus Go. Les auteurs ont mené une entrevue avec des questions spécifiques à la mémoire des individus, avant de développer une application fondée sur les lignes directrices de la thérapie de la réminiscence.

ASPECT FINANCIER

Les coûts reliés au développement d'une application virtuelle et à l'acquisition de matériel jouent un rôle de premier ordre. Comme le fait remarquer Liangfu (2021), il est faisable de créer une plateforme d'enseignement interactive simple en utilisant un casque HMD (entrée de gamme) connecté à un téléphone intelligent. Dans la recherche de Garcia *et al.* (2021), les participants se sont servis d'un casque HMD Pico G2 4K, à prix abordable et d'utilisation facile. L'application de Garcia *et al.* est fondée sur un programme médical de compétences en matière de soulagement de la douleur pour la lombalgie chronique. Le programme introduit, entre autres, des stratégies de contrôle de la douleur comme l'entraînement de la respiration, la relaxation et la pleine conscience.



En revanche, Chang *et al.* (2019) utilisent un kit de développement logiciel (SDK) pour concevoir et développer des logiciels en RA. Selon Chang *et al.*, un SDK se compose de tous les éléments nécessaires à la réalisation des applications, notamment les effets visuels et auditifs, et les objets en 3D qui se superposent à la réalité. Plusieurs SDK sont vendus sur le marché, dont Google Scale, Leap Motion, DayDream et Vuforia (Chang *et al.*, 2019).

Blair *et al.* (2021) font remarquer qu'il est possible avec des équipements peu dispendieux de réaliser une application vidéo 360 en 3D. Les auteurs mentionnent qu'il ne faut qu'une caméra 360 et un casque HMD. En revanche, comme l'indique Blair *et al.*, il n'est pas possible de faire des montages sophistiqués, et l'application demeure plus passive qu'une application en RV ou en RA. Entre autres, Blair a constaté que les apprenants avaient une expérience utilisateur moins intéressante lorsqu'ils utilisaient un casque de qualité moyenne comme le Samsung 360. Les apprenants ressentaient plus de symptômes de cybermalaise qu'avec un casque Oculus.

Or, Blair *et al.* (2021) indiquent que pour faire des vidéos 360 en 3D interactives, les coûts des équipements nécessaires à la conception sont élevés. Les auteurs indiquent que le système Odyssey GoPro VR, combiné avec l'application Jump de Google, permet de réaliser des vidéos 360 en 3D de qualité. Toutefois, Blair *et al.* font remarquer qu'il en coûte environ 15 000 dollars américains pour se procurer l'équipement nécessaire.

Théories et concepts

Nous présentons ici les théories et les concepts sur lesquels les auteurs s'appuient pour concevoir leurs applications.

Blair *et al.* (2021) mentionnent plusieurs théories, notamment la « Multimedia Cone of Abstraction » (MCoA) qui est fondé sur la « Cone of Experience » (CoE). La CoE est une hiérarchie d'expériences d'apprentissage allant de la participation directe à l'expression symbolique abstraite. L'objectif du MCoA est d'aider les concepteurs pédagogiques à sélectionner la technologie la mieux adaptée au contexte d'apprentissage. Blair *et al.* présentent également le modèle motivationnel « Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction » (ARCS) développé par Keller (2000). Selon ce modèle, il faut développer un environnement d'apprentissage adapté et motivant pour les apprenants, qui peut les mettre en confiance et qui offre du soutien à l'apprentissage. L'article de Blair *et al.* s'appuie aussi sur la théorie de l'adaptation à la communication, qui est fondée sur l'idée que les personnes adaptent leur communication selon leur interlocuteur.

L'étude de Butti *et al.* (2020) de même que celle de Nijman *et al.* (2019) sont fondées sur la théorie de l'esprit et de la reconnaissance des états affectifs. La théorie de l'esprit correspond à la capacité de décoder ses propres sentiments et ceux des autres personnes. En revanche, la reconnaissance des états affectifs est la capacité de reconnaître les émotions à partir des expressions faciales. Des applications permettent l'observation des relations entre les personnages virtuels et l'évaluation des états mentaux par la reconnaissance des émotions faciales.

L'article de Radianti *et al.* (2020) traite de l'immersion et de la présence qui sont des concepts connus dans le domaine éducationnel. Selon Radianti *et al.*, l'immersion est un état psychologique où l'apprenant n'est plus relié à la réalité tandis que la présence est observée lorsque l'utilisateur se croit dans un monde différent de sa propre réalité. Lewis *et al.* (2021) se penchent sur la théorie immersive du « flow » qui explique l'importance pour l'apprenant d'éprouver du plaisir lors de son apprentissage (Csikszentmihalyi, 1990).



Ibili (2019) mentionne l'importance de tenir compte de la théorie de la charge cognitive qui est basée sur l'architecture cognitive humaine. Selon cette théorie, les activités d'enseignement jouent un rôle important dans l'augmentation de la capacité de la mémoire de travail. La mémoire de travail sert à mémoriser un nombre restreint d'informations, que nous manipulons et conservons pendant une courte durée, le temps d'effectuer un travail de réflexion et de raisonnement.

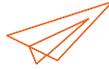
Selon Wang *et al.* (2018), la RA favorise la construction des connaissances par l'apprenant. L'apprenant est conscient de ce qui se passe dans son esprit et utilise ses facultés cognitives à partir de ses connaissances actuelles, particulièrement lors d'apprentissages par la découverte ou la résolution de problèmes.

Méthodologie d'évaluation

Cette section présente les méthodologies d'évaluation que les chercheurs ont appliquées pour évaluer l'efficacité des technologies immersives en enseignement. La technique d'évaluation la plus citée est la méthode empirique.

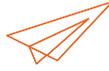
Un certain nombre d'études (12) ont adopté une méthodologie expérimentale, en divisant les participants dans 2 groupes (contrôle et expérimental). Le test de Mann-Whitney a été adopté pour comparer les groupes, avec une valeur p de $<0,05$ considérée comme statistiquement significative. Voici une brève description des études :

- Butti *et al.* (2020) valident l'efficacité de leur application en RV sur des personnes qui présentent des troubles cérébelleux. On évalue leurs capacités motrices et leurs habiletés sociales;
- l'étude de Chen *et al.* (2020) mesure l'efficacité de la rétention des connaissances sur l'anatomie humaine. Les auteurs ont comparé les résultats sur trois groupes d'apprenants : un premier utilise l'application en RV, un deuxième apprend sur des cadavres et finalement un groupe suit une formation traditionnelle;
- la recherche de Danny *et al.* (2018) évalue la perception des apprenants en ophtalmologie qui utilisent ou non une simulation en RV pour retirer des cataractes;
- l'application virtuelle de Du *et al.* (2020) consiste à identifier et à reconstruire 25 muscles et 25 os du corps humain. Les auteurs ont comparé les résultats de trois groupes : le premier a suivi une formation traditionnelle, le deuxième a utilisé l'application RV de manière individuelle, tandis que le troisième a utilisé l'application en RV multi-usagers;
- l'étude de Garcia *et al.* (2021) mesure l'efficacité d'une application en RV avec une dimension sérieuse comparativement à une application en RV consacrée à la détente. L'expérimentation consiste à s'autoadministrer à domicile durant huit semaines un programme médical en RV spécialisé sur les stratégies sur le soulagement de la douleur. Cette étude est fondée sur le jugement des participants : chaque patient évalue le niveau de la douleur qu'il ressent;



- Han *et al.* (2021) ont effectué une étude prospective, randomisée, en simple aveugle. Le groupe contrôle a évalué des patients standards (acteurs professionnels) qui se plaignaient de vertige lors d'un examen neurologique, tandis que le groupe expérimental a utilisé une application en RV. Les apprenants ont utilisé une description verbale, des photographies et des vidéos avant de produire un diagnostic;
- Issleib *et al.* (2021) comparent une formation en réanimation cardiorespiratoire (RCP) conventionnelle avec une formation en RV. L'évaluation se fait par un test simulé sur un mannequin. On évalue les techniques utilisées et le temps nécessaire pour appliquer la procédure. L'étude mesure également la perception des apprenants sur leur gain d'apprentissage;
- Nijman *et al.* (2019) évaluent les effets de la RV sur l'intégration sociale de personnes atteintes d'un trouble psychotique. Le groupe contrôle utilise une application en RV (VrRelax) fondée sur un programme de relaxation, tandis que le groupe expérimental a recours à l'application RV (DiSCoVR) basée sur la théorie de l'esprit. L'évaluation se fait à partir de tests psychologiques élaborés pour l'inférence sociale, la performance sociale et le degré d'invalidité sociale;
- l'expérimentation de Rahm *et al.* (2018) consiste à effectuer des tâches d'arthroscopie du genou et de l'épaule sur un simulateur d'arthroscopie du genou et de l'épaule en réalité virtuelle. Les auteurs ont évalué les données métriques du simulateur à l'aide d'un score z et de l'évaluation des compétences en chirurgie arthroscopique avec l'outil (ASSET);
- l'étude de Saredakis *et al.* (2020) vise à évaluer si la RV peut être utilisée pour fournir une thérapie pour la mémoire et examiner l'intérêt des participants souffrant d'apathie. Saredakis *et al.* indiquent qu'ils ont mesuré la pathologie à l'aide de l'échelle d'évaluation de l'apathie, mesuré la fluidité verbale qui représente l'amélioration de l'apathie et fait des entretiens pour recueillir les commentaires des participants. Au départ, l'état cognitif a été obtenu à partir des dossiers actuels des résidences pour personnes âgées;
- la recherche de Sultan *et al.* (2019) consiste à évaluer les habiletés des étudiants en médecine à communiquer avec les patients et à collaborer avec les autres membres de l'équipe médicale. Les auteurs ont comparé un groupe expérimental qui a utilisé une application vidéo 360 en 3D et un groupe contrôle qui a suivi une formation par conférence interactive;
- Tang *et al.* (2020) ont comparé les résultats des apprenants qui ont suivi une formation en design industriel traditionnelle par rapport aux apprenants qui l'ont suivi en RA. Trois critères ont été évalués : les capacités en visualisation de modèles, l'analyse géométrique et la créativité.

On utilise également des questionnaires à la fin de l'expérimentation (Butti *et al.*, 2020; Chang *et al.*, 2019; Ke *et al.*, 2020; Saredakis *et al.*, 2020; Somrak *et al.*, 2019) ainsi que des sondages au début et à la fin de l'expérimentation (Garcia *et al.*, 2021; Issleib *et al.*, 2021; Ke *et al.*, 2020; Radianti *et al.*, 2020).



La motivation

La motivation est un facteur essentiel en éducation et l'un des aspects les plus mentionnés dans les écrits; nous avons répertorié 19 (19/40) articles qui se penchent sur ce sujet.

Blair *et al.* (2021) font remarquer que la motivation des usagers est le principal avantage des technologies virtuelles. Les technologies immersives améliorent la persévérance des apprenants en augmentant leur motivation et leur attention (Blair *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020; Ibili, 2019; Maas et Hughes, 2020; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021; Xie *et al.*, 2019). De plus, Ille *et al.* (2021) indiquent que les participants aiment leur expérience et croient que la technologie est utile pour l'apprentissage et la collaboration. Sans oublier que les technologies immersives améliorent la confiance et le sentiment de réussite (Issleib *et al.*, 2021).

Les jeunes apprenants réagissent positivement aux nouvelles technologies, puisqu'ils interagissent avec des informations numériques depuis un jeune âge (Altinpulluk, 2019; Danny *et al.*, 2018; Du *et al.*, 2020; Garcia *et al.*, 2021; Sultan *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2018). De plus, comme le font remarquer Radianti *et al.* (2020) et Loh et Misselhorn (2020), un des avantages de la RV est la possibilité d'intégrer des interactions ludiques pour bonifier l'expérience utilisateur et augmenter la motivation. Loh et Misselhorn (2020) ajoutent que la RA améliore la motivation des apprenants en les impliquant lors de l'apprentissage à l'exploration, et favorise la pensée créative.

La collaboration

Nous avons répertorié huit (8/40) articles qui se penchent sur la collaboration.

Selon Du *et al.* (2020), les apprenants qui ont utilisé une application en RV multi-usagers ont ressenti plus de stress, principalement à cause de l'esprit de compétition. En revanche, Du *et al.* font remarquer que les applications multi-usagers favorisent les échanges et améliorent le potentiel d'apprentissage. Ille *et al.* (2021) ajoutent que les différents intervenants, professeurs, apprenants et spécialistes ont la possibilité de partager leur point de vue et leur expérience pour arriver à un diagnostic médical. La RA permet également aux apprenants de collaborer pour résoudre des problèmes complexes (Altinpulluk, 2019).

La RV augmente la capacité de communiquer et de collaborer avec des personnes dans des endroits éloignés (Gellweiler et Krishnamuthi, 2020; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2018). Or, Chang *et al.* (2019) font remarquer qu'une plateforme en ligne permet aux enseignants et aux apprenants de partager leurs expériences.

Les avantages

La majorité des auteurs des articles mentionnent que les technologies virtuelles offrent des avantages intéressants pour l'éducation supérieure. Comme le font remarquer Paszkiewicz *et al.* (2021), le potentiel des technologies virtuelles dans le processus éducatif est réel.



Nous avons recueilli les avantages mentionnés dans 34 (34/40) articles. Nous les avons regroupés et les présentons selon le plus grand nombre cité. Les technologies virtuelles :

- sont efficaces pour le transfert de nouvelles connaissances et l'apprentissage de nouvelles compétences (Alismail *et al.*, 2019; Bogomolova *et al.*, 2020; Danny *et al.*, 2018; Du *et al.*, 2020; Han *et al.*, 2021; Issleib *et al.*, 2021; Ke *et al.*, 2020; Loh et Misselhorn, 2020; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Rahm *et al.*, 2018; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021; Sultan *et al.*, 2019; Tang *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2018);
- réduisent les coûts liés à la formation, notamment dans les laboratoires de sciences pures et appliquées, dans le domaine médical et lors de visite de sites éloignés (Chang *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020; Hodgson *et al.*, 2019; Han *et al.*, 2021; Ille *et al.*, 2021; Katz *et al.*, 2020; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Rahm *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2018; Xie *et al.*, 2019);
- permettent aux apprenants d'améliorer la compréhension de concepts abstraits (Altinpulluk, 2019; Chang *et al.*, 2019; Hodgson *et al.*, 2019; İbili, 2019; Ke *et al.*, 2020; Maas et Hughes, 2020; Ramirez et LaBarge, 2018; Wang *et al.*, 2018);
- améliorent la kinesthésie et les compétences visuospatiales, particulièrement lors de manipulation minutieuse (Altinpulluk, 2019; Bogomolova *et al.*, 2020; Chang *et al.*, 2019; Ke *et al.*, 2020; Loh et Misselhorn, 2020; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Radianti *et al.*, 2020). Xie *et al.* (2019) ajoutent que la RA est bien adaptée à la manipulation d'objets concrets;
- offrent un espace de collaboration et favorisent l'enseignement interactif (Gellweiler et Krishnamuthi, 2020; Ille *et al.*, 2021; Ke *et al.*, 2020; Loh et Misselhorn, 2020; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021; Sultan *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2018);
- stimulent les fonctions cognitives et les aptitudes sociales (Blair *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2019; Garcia *et al.*, 2021; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Somrak *et al.*, 2019);
- prodiguent un enseignement personnalisé à l'apprenant et lui permet de pratiquer à son rythme (Lewis *et al.*, 2021; Nijman *et al.*, 2019; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Saredakis *et al.*, 2020);
- autorisent l'expérimentation sans les risques associés, notamment avec des substances dangereuses (Chang *et al.*, 2019; Danny *et al.*, 2018; Hodgson *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2018);
- augmentent la motivation, la concentration, la confiance et l'intérêt des apprenants (Chen *et al.*, 2020; Radianti *et al.*, 2020; Issleib *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2018);
- réduisent la charge cognitive de l'apprenant et améliorent la mémoire à long terme (İbili, 2019; Maas et Hughes, 2020; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021).



Les limites et les risques associés

Chaque technologie a ses limites et ses risques; les technologies immersives ne font pas exception. Vingt et un (21/40) articles ont mentionné un potentiel de risque associé aux technologies virtuelles. Nous les avons regroupés selon le nombre d'auteurs qui les citent. Les technologies immersives :

- ont permis de générer peu d'applications virtuelles pédagogiques sur le marché et les ressources spécialisées pour leur conception sont rares (Chang *et al.*, 2019; Lewis *et al.*, 2021; Liangfu, 2021; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Radianti *et al.*, 2019; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2018);
- sont dispendieuses à implanter, sans oublier que leur acceptabilité sociale est faible (Hodgson *et al.*, 2019; Lewis *et al.*, 2021; Liangfu, 2021; Paszkiewicz *et al.*, 2021; Radianti *et al.*, 2020; Sultan *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2018);
- peuvent faire vivre des symptômes de cybermalaise aux usagers (utilisation des casques HMV), entre autres la nausée, le mal de tête, le vertige et de la fatigue (Chen *et al.*, 2020; Garcia *et al.*, 2021; Leung et Hon, 2019; Rahm *et al.*, 2018; Saredakis *et al.*, 2020; Somrak *et al.*, 2019);
- ne permettent pas le transfert de connaissances, puisque la plupart des études analysées portent sur un petit échantillon dans un seul établissement, ce qui rend difficile la généralisation des données (Butti *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021);
- introduisent un risque de cyberdépendance et des problèmes éthiques (Paszkiewicz *et al.*, 2021; Ramirez et LaBarge, 2018);
- présentent des interfaces visuelles pas toujours conviviales, entre autres lors de l'ajustement des verres à la vue des usagers, et la superposition dans les lunettes assistées n'est pas toujours constante lors des mouvements de la tête (Bogomolova *et al.*, 2020; İbili, 2019);
- augmentent la charge cognitive de l'apprenant si l'application est mal conçue (Lewis *et al.*, 2021; Loh et Misselhorn, 2020);
- sont complexes à concevoir et à adapter aux besoins des apprenants (Radianti *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2018).

Discussion

Cette revue de littérature met en lumière plusieurs éléments. Sur le plan pédagogique, on constate l'émergence de plusieurs initiatives intéressantes et celles-ci font l'objet de recherches qui utilisent souvent des méthodologies pouvant favoriser la constitution éventuellement de données probantes. Les assises théoriques sont principalement orientées vers les approches cognitives et nous constatons un début de démocratisation des technologies nécessaires au développement et à l'exploitation des technologies immersives en éducation.

Plusieurs avantages ont été répertoriés dans des recherches récentes, que ce soit sur l'amélioration du transfert de connaissances, du potentiel de collaboration avec des experts éloignés, de la diminution des coûts en éducation, notamment dans les laboratoires. Gellweiler et Krishnamuthi (2020) ajoutent que la



RA permet l'augmentation des capacités humaines par l'ajout de données numériques qui s'affichent dans des lunettes assistées. En revanche, selon Blair *et al.* (2021), la motivation des usagers est le principal avantage de la technologie virtuelle. Le casque HMD permet à l'apprenant de se concentrer dans son apprentissage, puisqu'il rend l'univers immersif. Sans oublier que les technologies permettent de pratiquer sans les risques et peuvent être personnalisées à l'apprenant.

Or, plusieurs questions sont présentement sans réponse et liées aux limites et risques. Comment minimiser le risque d'éprouver un cybermalaise avec l'utilisation des casques HMD (Kenwright, 2018; Somrak *et al.*, 2019)? Les technologies immersives sont-elles efficaces et accessibles en contexte éducatif où les ressources sont limitées? Serait-il possible d'optimiser la dimension pédagogique dans les applications immersives?

Finalement, les recherches dans ce domaine portent sur un petit échantillon et ne sont effectuées que dans un seul établissement, ce qui rend difficile la généralisation des résultats (Butti *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020; Rodríguez-Abad *et al.*, 2021). Il est essentiel que les recherches dans le domaine s'accroissent (Butti *et al.*, 2020), notamment sur le potentiel de transfert de connaissances qu'offrent les technologies virtuelles immersives ainsi que sur leurs risques associés.

Conclusion

Un logiciel pédagogique pertinent doit pouvoir évaluer les compétences des apprenants et ainsi offrir un continuum d'informations et d'activités d'apprentissage adaptées à l'acquisition de connaissances. L'avantage des logiciels pédagogiques est leur potentiel à s'ajuster à chaque apprenant selon son rythme et ses habiletés d'apprentissage. Comme le mentionnent Ramirez et LaBarge (2018), l'intérêt des technologies immersives est de pouvoir reproduire une expérience dans un monde virtuel dans le but d'améliorer les connaissances des apprenants. La RV offre de multiples avantages : diminution des coûts de formation, réduction des déplacements, élimination des risques lors de manipulation de substances dangereuses, etc. En revanche, elle permet un tel réalisme qu'il pourrait être risqué de faire vivre des expériences non acceptables dans notre société. Sans pour autant les interdire, il serait pertinent de bien encadrer leur pratique, particulièrement dans les établissements d'enseignement.

Liste de références

- Altinpulluk, H. (2019). Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016. *Education & Information Technologies*, 24(2), 1089-1114. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9806-3>
- Aljohaney, A. A. (2019). Predictors of virtual reality simulation bronchoscopy performance among novice bronchoscopists. *Advances in Medical Education and Practice*, 10, 63-70.
- Alismail, A., Thomas, J., Daher, N. S., Cohen, A., Almutairi, W., Terry, M. H., Huang, C. et Tan, L. D. (2019). Augmented reality glasses improve adherence to evidence-based intubation practice. *Advances in Medical Education and Practice*, 10, 279-286.
- Blair, C., Walsh, C. et Best, P. (2021). Immersive 360° videos in health and social care education: a scoping review. *Bmc Medical Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-021-03013-y>



- Bogomolova, K., van der Ham, I., Dankbaar, M., van den Broek, W. W., Hovius, S., van der Hage, J. A., et Hierck, B. P. (2020). The Effect of Stereoscopic Augmented Reality Visualization on Learning Anatomy and the Modifying Effect of Visual-Spatial Abilities: A Double-Center Randomized Controlled Trial. *Anatomical Sciences Education*, 13(5), 558-567. <https://doi.org/10.1002/ase.1941>
- Bonenberger, Y., Rambach, J., Pagani, A. et Stricker, D. (2018). *Universal Web-Based tracking for augmented reality applications*. Dans P. Bourdot, S. Cobb, V. Interrante, H. Kato, et D. Stricker. (dir.), *Virtual reality and augmented reality* (p. 18-27). Springer.
- Butti, N., Biffi, E., Genova, C., Romaniello, R., Redaelli, D. F., Reni, G., Borgatti, R. et Urgesi, C. (2020). Virtual Reality Social Prediction Improvement and Rehabilitation Intensive Training (VR-SPIRIT) for paediatric patients with congenital cerebellar diseases: study protocol of a randomised controlled trial. *Trials*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s13063-019-4001-4>
- Chang, C.-Y., Debra Chena, C.-L. et Chang, W.-K. (2019). Research on Immersion for Learning Using Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality. *Enfance*, 3, 413-426. <https://www.cairn.info/revue-enfance-2019-3-page-413.htm>
- Chen, S., Zhu, J., Cheng, C., Pan, Z., Liu, L., Du, J., Shen, X., Shen, Z., Zhu, H., Liu, J., Yang, H., Ma, C. et Pan, H. (2020). Can virtual reality improve traditional anatomy education programmes? A mixed-methods study on the use of a 3D skull model. *BMC Medical Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02255-6>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). Literacy and Intrinsic Motivation. *Daedalus*, 119(2), Literacy in America, 115-140. <http://www.jstor.org/stable/20025303>
- Danny, S.-C. N., Zihan, S., Alvin, L. Y., Simon, T.-C. K., Jerry, K.-H. L., Timothy, Y.-Y. L., Shameema, S. et Clement, C. T. (2018). Impact of virtual reality simulation on learning barriers of phacoemulsification perceived by residents. *Clinical Ophthalmology*, 885-893. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S140411>
- Du, Y.-C., Fan, S.-C. et Yang, L.-C. (2020). The impact of multi-person virtual reality competitive learning on anatomy education: A randomized controlled study. *BMC Medical Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02155-9>
- Garcia, L. M., Birkhead, B. J., Krishnamurthy, P., Sackman, J., Mackey, I. G., Louis, R. G., Salmasi, V., Maddox, T. et Darnall, B. D. (2021). An 8-Week Self-Administered At-Home Behavioral Skills-Based Virtual Reality Program for Chronic Low Back Pain: Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Trial Conducted During COVID-19. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2), e26292. <https://doi.org/10.2196/26292>
- Gellweiler, C. et Krishnamuthi, L. (2020). Editorial: How Digital Innovators Achieve Customer Value. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 15(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-18762020000100101>
- Han, S. G., Kim, Y. D., Kong, T. Y. et Cho, J. (2021). Virtual reality-based neurological examination teaching tool(vrnet) versus standardized patient in teaching neurological examinations for the medical students: a randomized, single-blind study. *BMC Medical Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02920-4>
- Hodgson, P., W. Y. Lee, V., C. S. Chan, J., Fong, A., S. Y. Tang, C., Chan, L. et Wong, C. (2019). Immersive virtual reality (IVR) in higher education: Development and implementation. Dans C. tom Dieck et T. Jung, (2019), *Augmented reality and virtual reality* (p.161-172). Springer Nature.
- İbili, E. (2019). Effect of augmented reality environments on cognitive load: pedagogical effect, instructional design, motivation and interaction interfaces. *International Journal of Progressive Education*, 15(5), 42-57. <https://doi.org/10.29329/ijpe.2019.212.4>
- Ille, S., Ohlerth, A.-K., Colle, D., Colle, H., Dragoy, O., Goodden, J., Robe, P., Rofes, A., Mandonnet, E., Robert, E., Satoer, D., Viegas, C. P., Visch-Brink, E., van Zandvoort, M. et Krieg, S. M. (2021). Augmented reality for the virtual dissection of white matter pathways. *Acta Neurochirurgica: The European Journal of Neurosurgery*, 163(4), 895-903. <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04545-w>
- Issleib, M., Kromer, A., Pinnschmidt, H. O., Süß-Havemann, C. et Kubitz, J. C. (2021). Virtual reality as a teaching method for resuscitation training in undergraduate first year medical students: a randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 29(1). <https://doi.org/10.1186/s13049-021-00836-y>



- Katz, D., Shah, R., Kim, E., Park, C., Shah, A., Levine, A. et Burnett, G. (2020). Utilization of a Voice-Based Virtual Reality Advanced Cardiac Life Support Team Leader Refresher: Prospective Observational Study. *Journal of medical Internet research*, 22(3), 17425. <https://doi.org/10.2196/17425>
- Ke, F., Pachman, M. Dai, Z. (2020). Investigating educational affordances of virtual reality for simulation-based teaching training with graduate teaching assistants. *Journal of Computing in Higher Education: Integration of Instructional Technology*, 32(3), 607-627. <https://doi.org/10.1007/s12528-020-09249-9>
- Keller, J. (2000) *How to integrate learner motivation planning into lesson planning: The ARCS model approach*. Présentation au VII Semanario, Santiago, Cuba, février 2000. <https://tinyurl.com/ya7dllp2>
- Kenwright, B. (2018). Virtual Reality: Ethical Challenges and Dangers [Opinion]. *IEEE Technology & Society Magazine*, 37(4), 20-25. <https://doi.org/10.1109/MTS.2018.2876104>
- Leung, A. K. et Hon, K. L. (2019). Motion sickness: an overview. *Drugs in context*, 8, 9-4. <https://doi.org/10.7573/dic.2019-9-4>
- Lewis, F., Plante, P. et Lemire, D. (2021). Pertinence, efficacité et principes pédagogiques de la réalité virtuelle et augmentée en contexte scolaire : une revue de littérature. *Médiations et médiatisations*, (5), 11-27. <https://revue-mediations.telug.ca/index.php/Distances/article/view/161>
- Liangfu, J. (2021). Virtual Reality Action Interactive Teaching Artificial Intelligence Education System. *Complexity*. <https://doi.org/10.1155/2021/5553211>
- Loh, W. et Misselhorn, C. (2020). Augmented learning, smart glasses and knowing how. *Ai & Society: Journal of Knowledge, Culture and Communication*, 35(2), 297-308. <https://doi.org/10.1007/s00146-019-00881-3>
- Maas, M. J. et Hughes, J. M. (2020). Virtual, augmented and mixed reality in K-12 education: a review of the literature. *Technology, Pedagogy & Education*, 29(2), 231-249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>
- Nijman, S. A., Veling, W., Greaves-Lord, K., Vermeer, R. R., Vos, M., Zandee, C. E. R., Zandstra Daniëlle C, Geraets, C. N. W. et Pijnenborg, G. H. M. (2019). Dynamic Interactive Social Cognition Training in Virtual Reality (DiSCoVR) for social cognition and social functioning in people with a psychotic disorder: study protocol for a multicenter randomized controlled trial. *BMC Psychiatry*, 19(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12888-019-2250-0>
- Paszkiwicz, A., Salach, M., Dymora, P., Bolanowski, M., Budzik, G. et Kubiak, P. (2021). Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. *Sustainability*, 13, 5049. <https://doi.org/10.3390/su13095049>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J. et Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computer & Education*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Rahm, S., Wieser, K., Bauer, D. E., Waibel, F. W. A., Meyer, D. C., Gerber, C. et Fucentese, S. F. (2018). Efficacy of standardized training on a virtual reality simulator to advance knee and shoulder arthroscopic motor skills. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2072-0>
- Ramirez, E.J. et LaBarge, S. (2018). Real moral problem in the use of virtual reality. *Ethics and Information Technology*, 20, 249-263. <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9473-5>
- Rodríguez-Abad, C., Fernández-de-la-Iglesia, J.-D.-C., Martínez-Santos, A.-E. et Rodríguez-González, R. (2021). A Systematic Review of Augmented Reality in Health Sciences: A Guide to Decision-Making in Higher Education. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph18084262>
- Saredakis, D., Keage, H. A. D., Corlis, M. Loetscher, T. (2020). Using Virtual Reality to Improve Apathy in Residential Aged Care: Mixed Methods Study. *Journal of Medical Research*, 22(6), 17632. <https://doi.org/10.2196/17632>
- Somrak, A., Humar, I., Hossain, M.S., Alhamid, M.F., Hossain, M.A. et Guna, J. (2019). Estimating VR Sickness and user experience using different HMD technologies: An evaluation study. *Future Generation Computer Systems*, 94, 302-316. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.11.041>
- Sultan, L., Abuznadah, W., Al-Jifree, H., Khan, M. A., Alsaywid, B. et Ashour, F. (2019). An Experimental Study On Usefulness Of Virtual Reality 360° In Undergraduate Medical Education. *Advances in Medical Education and Practice*, 10, 907-916. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S219344>



- Tang, Y. M., Au, K. M., Lau, H. C. W., Ho, G. T. S. et Wu, C. H. (2020). Evaluating the effectiveness of learning design with mixed reality (MR) in higher education. *Virtual Reality*, 24(4), 797-807. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00427-9>
- Wang, M., Callaghan, V., Bernhardt, J., White, K. et Pena-Rios, A. (2018). Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9, 1391-1402. <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0547-8>
- Xie, Y., Zhang, Y. et Cai, Y. (2019). Virtual Reality Engine Disassembly Simulation with Natural Hand-Based Interaction. Dans Cai, Y., van Joolingen, W. et Walker, Z (dir.), *VR, Simulations and Serious Games for Education* (p. 121-128). Springer.