



Pertinence, efficacité et principes pédagogiques de la réalité virtuelle et augmentée en contexte scolaire : une revue de littérature

Relevance, effectiveness, and pedagogical principles of virtual and augmented reality in school context: A literature review

Relevancia, efectividad y principios pedagógicos de la realidad virtual y aumentada en el contexto escolar: una revisión de la literatura

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

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

Daniel Lemire, professeur
Université TÉLUQ, Canada
lemire@gmail.com

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, beaucoup de nouveautés technologiques ont fait leur apparition en éducation. Deux de ces technologies, la réalité virtuelle et la réalité augmentée nous intéressent plus particulièrement. La réalité virtuelle permet, notamment à l'aide d'un casque, de s'immerger totalement dans un univers entièrement conçu avec des objets irréels et numériques tandis que la réalité augmentée permet, avec des lunettes ou un mobile, d'ajouter des éléments numériques à la réalité, notamment par superposition (Wang, Callaghan, Bernhardt, White et Peña-Rios, 2018). Cet article est le résultat d'une revue de littérature portant sur le domaine de la réalité virtuelle et augmentée en éducation. L'article a pour objectifs, dans un premier temps, d'approfondir nos connaissances du domaine afin d'apporter des éléments de réponse à la question de la pertinence et de l'efficacité de ce type d'artefacts

en éducation et, dans un deuxième temps, d'identifier des principes qui peuvent guider la conception d'artefacts éducatifs en réalité virtuelle et augmentée. La méthodologie de la revue de littérature est basée sur la méthode EPPI (*Evidence for Policy and Practice Information and Co-ordinating*). Les résultats seront présentés par thèmes tels que la motivation, l'immersion, la collaboration et la conception.

Mots-clés : réalité virtuelle, réalité augmentée, apprentissage, éducation, ingénierie pédagogique

ABSTRACT

Recently, many technological innovations have appeared in education. Two of these technologies, virtual reality and augmented reality, interest us particularly. Virtual reality allows oneself to fully immerse in a universe entirely designed with unreal and digital objects using a headset. On the other hand, augmented reality allows, with glasses or a mobile, to add digital elements to reality, mainly by superposition (Wang, Callaghan, Bernhardt, White and Peña-Rios, 2018). This article is the result of a literature review on virtual and augmented reality in education. Firstly, the article aims to deepen our knowledge of the field to address the relevance and effectiveness of this type of artifact in education and to identify principles that can guide educational artifacts in virtual and augmented reality. The literature review methodology is based on the EPPI (Evidence for Policy and Practice Information and Co-ordinating) method. The results are presented by themes such as motivation, immersion, collaboration, and design.

Keywords: virtual reality, augmented reality, learning, education, educational engineering

RESUMEN

En los últimos años, han surgido muchas innovaciones tecnológicas en educación. Dos de estas tecnologías, la realidad virtual y la realidad aumentada, son de particular interés para nosotros. Gracias a un casco visor, la realidad virtual permite sumergirse de lleno en un universo diseñado completamente con objetos irreales y digitales, mientras que la realidad aumentada permite, gracias al uso de unas gafas o de un móvil, agregar elementos digitales a la realidad, en particular por superposición (Wang, Callaghan, Bernhardt, White y Peña-Rios, 2018). Este artículo es el resultado de una revisión de la literatura sobre el campo de la realidad virtual y aumentada en educación. El artículo tiene como objetivo, en primer lugar, profundizar nuestro conocimiento del campo con el fin de proporcionar elementos de respuesta sobre la relevancia y eficacia de este tipo de artefactos en la educación y, en segundo lugar, identificar los principios que pueden guiar el diseño de artefactos educativos en realidad virtual y aumentada. La metodología de la revisión de la literatura se basará en el método EPPI (*Evidencia para información y coordinación de políticas y prácticas*). Los resultados serán presentados por temas como la motivación, la inmersión, la colaboración y el diseño.

Palabras clave: realidad virtual, realidad aumentada, aprendizaje, educación, ingeniería educativa

Introduction

Cette revue de littérature a pour objectif de dresser l'état de la situation actuelle du domaine de connaissance de la réalité virtuelle (RV) et augmentée (RA) en éducation. Les résultats permettront d'approfondir les connaissances et d'énoncer des lignes directrices en appui au développement de futurs projets de recherche impliquant la conception de logiciels personnalisés favorisant l'apprentissage des élèves du primaire et du secondaire.

Dans le but de faciliter la lecture du document, nous présentons la synthèse des informations recueillies par thème. Les informations avec les auteurs des textes sont regroupées pour ensuite être analysées. Pour ce faire, nous allons suivre un cheminement itératif pour répondre à notre question initiale de recherche en identifiant les oppositions et les validations, les concepts et les paradigmes du domaine à travers les écrits sélectionnés.

Nous poursuivons avec un sommaire des limites et des avantages relevés dans les textes de références, pour ensuite exposer une position en ce qui concerne la pertinence de la réalité virtuelle comme outil pédagogique tout en tenant compte des désavantages et controverses que l'utilisation des nouvelles technologies suscite en éducation.

Nous terminons ce travail par des commentaires de nature réflexive et des suites possibles à cette revue de littérature.

Problématique

Bien que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) soient de plus en plus à la mode, il est permis de contester leur pertinence en contexte scolaire. Il est alors tout indiqué de procéder à une revue de littérature afin d'énoncer des directives basées sur des preuves scientifiques.

Mais qu'est-ce qui différencie la RV de la RA? Selon Alexander *et al.* (2019), Altinpulluk (2019) et Fernandez (2017), la RV est immersive et permet à un apprenant d'utiliser notamment un casque autonome qui interagit avec un univers complètement artificiel construit par ordinateur tandis que la RA se sert également d'un casque ou d'un téléphone intelligent pour superposer des images, textes ou autres objets virtuels aux contenus du monde réel.

Les technologies virtuelles ne sont pas nouvelles; Chartier (1995) indique qu'en 1968 Ivan Sutherland de l'Université Harvard a développé un des premiers dispositifs informatiques qui utilise un casque comme périphérique. L'ensemble permettait à l'utilisateur d'entrer dans un univers produit par un ordinateur. Selon Chartier (1995), les architectures virtuelles se composent généralement de trois éléments :

Un système d'imagerie sophistiqué capable de créer des objets en trois dimensions et de leur donner une apparence réelle, d'un système de contrôle capable de simuler le comportement de ces objets et d'une interface humain-machine permettant d'interagir avec ces objets (p. 40-41).

Par la suite, plusieurs dispositifs font leur apparition, notamment le premier gant optique, le *Data Glove*, inventé par Thomas Zimmerman en 1982; ce gant optique permet au système informatique de capter les mouvements de la main humaine (Lowood, 2019).

Duelach, Mavor et National Research Council (1995) indiquent plusieurs enjeux avant une démocratisation des technologies virtuelles, notamment le fait que le matériel est onéreux et peu disponible. Toutefois, les

progrès récents les rendent plus accessibles, entre autres la maturité technologique et la disponibilité des équipements de RV, notamment la sortie des casques autonomes grand public Oculus Rift et HTC Vive de type *head-mounted display* (HMD) en 2016 (Jégou et Pallamin, 2017).

Blevins (2018) et Cook *et al.* (2019) indiquent que les études sur les technologies virtuelles immersives en sont encore à leurs débuts et offrent de nombreuses possibilités en éducation, notamment du point de vue cognitif. Selon Blevins (2018) et Wang *et al.* (2018), le sentiment d'immersion en RA est semblable à celui que nous percevons dans notre réalité quotidienne, parce que la RA utilise une interface pour imbriquer des objets créés par ordinateur au monde réel, tandis que la conception d'un artefact en RV est entièrement numérique, ce qui permet un sentiment d'immersion plus important.

Toutefois, selon Garzón, Pavón et Baldiris (2019), le matériel approprié pour une bonne immersion, notamment le casque HMD, demeure dispendieux pour les établissements scolaires.

Dans ce contexte, notre question de recherche prend la forme suivante :

L'utilisation d'artefacts éducatifs en réalité virtuelle et augmentée est-elle pertinente pour les élèves en contexte scolaire? Dans l'affirmatif, quels sont les principes qui peuvent guider leur conception?

Méthodologie de la revue de littérature

La méthodologie se divise en deux étapes. Premièrement, nous procédons à une recension des écrits selon la méthodologie de recherche *Evidence for Policy and Practice Information and Co-ordinating* (EPPI-Center, 2010)¹. Cette méthode permet de repérer le plus fidèlement possible les articles pertinents liés à notre question de recherche et d'employer des méthodes claires afin d'identifier et de représenter fidèlement les faits décrits dans ces études.

Deuxièmement, nous présentons la synthèse des informations recueillies par thème. Nous pourrions ainsi exposer les résultats et proposer, à terme, des lignes directrices qui pourront aider à l'usage et à la conception d'artefacts pédagogiques en RV et en RA en contexte scolaire.

Tableau 1

Adaptation des 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'insertions
5. Effectuer la recherche systématique

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

6. Importer les résultats
7. Analyser sommairement et choisir les articles sélectionnés

La méthodologie de sélection des articles

En premier lieu, nous avons sélectionné six bases de données appropriées à la question de recherche (combinant des articles en technologie virtuelle et augmentée en milieu scolaire). Ensuite, nous avons effectué la recherche en utilisant les opérateurs descriptifs sélectionnés pour chaque base de données (voir tableau 2). Les articles doivent être disponibles en langue anglaise ou française. Un nombre total de 2350 articles sans doublons ont été récupérés.

Tableau 2

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

<i>Base de données</i>	<i>Opérateurs descriptifs du thesaurus utilisés</i>	<i>N^{bre} d'articles</i>
<i>HAL Archives-ouvertes.fr</i>	<i>Réalité virtuelle or réalité augmentée or augmented virtual or virtual reality</i>	<i>76</i>
<i>Academic Search Ultimate</i>	<i>virtual reality or augmented reality and education and learning</i>	<i>575</i>
<i>CAIRN</i>	<i>Réalité virtuelle or réalité augmentée or virtual reality or vr or augmented reality and education and apprentissage or learning</i>	<i>216</i>
<i>ERIC</i>	<i>virtual reality or augmented reality and education and learning</i>	<i>456</i>
<i>Educational source</i>	<i>virtual reality or augmented reality and education and learning</i>	<i>710</i>
<i>Computers and applied Sciences Complete</i>	<i>virtual reality or augmented reality and education and learning</i>	<i>317</i>
Total		2350

Le corpus de 2350 articles a été réduit et correspond aux trois critères d'insertions identifiés au tableau 3. Premièrement, nous limitons la recension aux études publiées à partir de 2017. L'année 2017 a été choisie, puisque les avancées récentes dans le domaine des technologies immersives, notamment des casques HMD qui permettent la liberté de mouvement, sont accessibles

financièrement depuis 2016. Il s'agit d'éléments importants qui peuvent modifier les résultats (Cook *et al.*, 2019). Deuxièmement, nous limitons également la recension aux recherches en contexte universitaire qui sont évaluées par des pairs et qui incluent les références. Finalement, nous retenons que les articles liés aux élèves en contexte scolaire et à leur conception. Pour ce dernier critère, nous avons sélectionné les études à la lecture des titres et des résumés. Le nombre total d'articles de la revue se limite ainsi à 29.

Tableau 3

Nombre d'articles sélectionnés après l'utilisation de chaque critère d'exclusion

<i>Critère d'insertion</i>	<i>N^{bre} d'articles sélectionnés</i>
Année de publication (2017-2020)	1011
Revue universitaire évaluée par des pairs, avec références	188
Spécifique en contexte scolaire ou à la conception	29

Note : Par exemple, 832 des 1011 documents ne sont pas des articles révisés par les pairs.

Les articles retenus proviennent en majorité des États-Unis (9) (voir tableau 4).

Tableau 4

Cartographie des études sélectionnées

Pays	Occurrence
États-Unis	9
Taiwan	4
Turquie	4
France	3
Australie	1
Canada	1
Chypre	1
Colombie	1
Danemark	1
Espagne	1
Grèce	1
Malaisie	1
Royaume-Uni	1

Résultats

Tous les articles sélectionnés sur les technologies de la RV et de la RA en éducation se sont attardés principalement sur trois dimensions importantes liées au transfert de connaissances : la motivation, l'immersion et la coopération. Nous avons conservé également les articles qui abordent la conception d'artefacts virtuels éducatifs. De plus, nous nous référons à des études antérieures pour appuyer les théories et les concepts qui y sont présentés. Il nous a semblé pertinent dans un premier temps de regrouper les études par thème, ensuite de décrire les avantages et les inconvénients des artefacts éducatifs en RV et en RA.

La motivation

La motivation est un facteur qui influence l'attention, une fonction cognitive importante dans le processus de transfert de connaissances (Long, Wood, Littleton, Passenger et Sheehy, 2011). Le thème de la motivation est apparu dans dix-huit articles sélectionnés (18/29).

La majorité des auteurs mentionnent l'impact positif des technologies de la RV et de la RA sur la motivation. Altinpulluk (2019) indique par ailleurs que les principaux avantages de la technologie RV et RA en éducation portent sur l'amélioration des résultats et de la motivation des élèves. La motivation améliore l'attention, qui est une fonction cognitive essentielle pour l'apprentissage. Les artefacts éducatifs, notamment les jeux sérieux, influent positivement la motivation et l'éveil à l'apprentissage. Entre autres, plusieurs jeux sont conçus selon le niveau du joueur; le niveau de difficulté s'ajuste automatiquement selon les résultats, ce qui améliore la motivation et la persévérance. L'amélioration de la motivation est liée principalement à deux axes pour le joueur, soit celui de conserver ce qu'il a effectué durant le jeu et celui de le partager avec ses pairs (Mildner, Stamer et Effelsberg, 2015). Redondo, Cózar-Gutiérrez, González-Calero et Sánchez Ruiz (2020) mentionnent également que la RA augmente significativement la motivation des élèves ainsi que le plaisir d'apprendre.

Cook *et al.* (2019) indiquent que les études récentes démontrent que si les artefacts éducatifs sont élaborés dans les règles de l'art, ils sont efficaces, motivants et présentent l'avantage d'être réutilisables. Les artefacts en RV et en RA présentent des avantages pour les apprenants, entre autres sur la motivation, la concentration et la visualisation des concepts (Edwards, Bielawski, Prada et Cheok, 2019; Garzón *et al.*, 2019). Les aspects étudiés par Veermans et Jaakkola (2019) indiquent que le transfert de compétences est plus rapide lorsque l'apprenant apprend par essais et erreurs lors de manipulation, au lieu de suivre un processus formel avec des instructions détaillées. Selon Cooper, Park, Nasr, Thong et Johnson (2019), il est motivant pour les élèves d'avoir la possibilité d'explorer des endroits éloignés et des phénomènes abstraits et complexes en science. Abdusselam, Kilis, Şahin Çakır et Abdusselam (2018) mentionnent que la RA améliore l'interprétation des observations, développe des compétences en sciences et des attitudes positives. De leur côté, Cooper *et al.* (2019) indiquent que le potentiel d'engagement des élèves est accru avec l'utilisation des technologies virtuelles. Selon Cooper *et al.* (2019), les environnements RV peuvent être motivants pour les élèves, les amenant à dépenser plus de temps sur la tâche éducative, et offre une meilleure expérience d'apprentissage. Selon Demitriadou, Stavroulia et Lanitis (2020), la technologie RV améliore les compétences spatiales des élèves et la transmission des connaissances. En revanche, Chang, Debra Chena et Chang (2019) mentionnent que l'utilisation d'un artefact pédagogique en RV peut augmenter la charge de travail ou le temps d'enseignement. Pour ne pas réduire l'intérêt des enseignants à utiliser les nouvelles technologies, les établissements scolaires ont avantage à offrir un support adéquat au personnel enseignant (Chang *et al.*, 2019).

Liou, Yang, Chen et Wernhuar (2017), Garzón *et al.* (2019) et Chen, Smith, York et Mayall (2020) indiquent que les technologies RV et RA améliorent la motivation d'apprentissage, mais aussi encouragent les étudiants à persévérer. De plus, Che Hashim, Abd Majid, Arshad et Khalid Obeidy (2018) mentionnent qu'une application qui est facile à utiliser augmente la motivation des élèves et le transfert de connaissances. Herbert, Ens, Weerasinghe, Billighurst et Wigley (2018) et Makransky, Borre-Gude et Mayer (2019) affirment que la RV a un impact positif sur la motivation des apprenants, cependant, selon eux, elle ne présente pas d'avantage marqué sur la rétention des compétences.

L'immersion

Six études (6/29) se sont intéressées au sentiment d'immersion créé par les artefacts virtuels. On définit l'immersion en RV, qu'elle soit de nature physique ou psychologique, comme étant ce qui « permet l'introduction chez la personne de la croyance qu'elle a quitté le monde réel et qu'elle est maintenant présente dans l'environnement virtuel » (« Immersion / Présence », 2019, p. 1).

Jensen et Konradsen (2018) mentionnent que les nouveaux équipements mobiles offrent une expérience immersive bénéfique en éducation. L'augmentation de l'immersion offerte par la nouvelle technologie RV, notamment avec les casques HMD, semble bien adaptée aux approches pédagogiques constructivistes et à l'apprentissage basé sur la simulation. Qui plus est, Edwards *et al.* (2019) affirment que la RV intègre de multiples avantages, entre autres l'immersion, ainsi que l'apprentissage multisensoriel et tactile. Selon Edwards *et al.* (2019), l'environnement RV immersif améliore la compréhension des concepts abstraits, favorise l'engagement, la motivation et l'intérêt des élèves.

Selon Cook *et al.* (2019), la réalité virtuelle est encore une technologie immature. Les casques HMD grands publics techniquement supérieurs sont devenus largement disponibles en 2016 avec la sortie des systèmes Oculus Rift et HTC Vive. Les apprenants ont reconnu le potentiel immersif de la technologie RV; la technologie RV offre aux élèves la possibilité d'explorer des endroits éloignés et de visualiser des univers/environnements abstraits comme manipuler des atomes (Garzon *et al.*, 2019; Cooper *et al.*, 2019). En revanche, Cook *et al.* (2019) mentionnent que plusieurs apprenants ont révélé avoir vécu un cybermalaise, sans oublier que, pour plusieurs participants, la maîtrise des interfaces s'avère complexe.

La cybercinétose, ou « *Cybersickness* », a été observée lors d'études sur le mal des transports menées en relation avec les simulateurs de vol (Durlach *et al.*, 1995). Leung et Hon (2019) indiquent que la cybercinétose est un problème fréquent en réalité virtuelle. Selon Leung et Hon (2019), elle se manifeste lors d'un « conflit sensoriel et d'un décalage neuronal ». La cybercinétose se manifeste principalement par des nausées, des maux de tête, des étourdissements, la désorientation spatiale et le vertige (Leung et Hon, 2019).

Hite *et al.* (2019) mentionnent que certains élèves sont incapables cognitivement d'avoir une pensée opérationnelle concrète. La pensée opérationnelle concrète est la troisième étape de la théorie de Piaget du développement cognitif (1964/2003). Selon ce dernier, elle se manifeste entre 7 et 11 ans et correspond à l'utilisation convenable de la logique, au moment où l'élève commence à résoudre les problèmes d'une manière plus logique. Cependant, Piaget (1964/2003) mentionne qu'il peut y avoir un décalage, certains enfants atteignant un stade du développement tardif. En revanche, Sol Roo (2017), Ucar, Ustunel, Civelek et Umut (2017) et Yoon, Anderson, Lin et Elinich (2017) indiquent que l'augmentation progressive de l'immersion avec la technologie RV peut créer des modèles mentaux corrects pour les élèves, particulièrement en développant des objets qui racontent des histoires. En revanche, Blevins (2018) et Jensen et Konradsen (2018) indiquent que les études sur les technologies virtuelles immersives en sont encore à leurs débuts et que le nombre limité d'études indique la nécessité de recherches plus approfondies sur les casques HMD en contexte éducatif. Comme l'indiquent Jensen

et Konradsen (2018), les casques HMD peuvent être utilisés comme interface pour l'apprentissage de plusieurs compétences, mais ils n'ont pas toujours une valeur ajoutée par rapport aux méthodes traditionnelles. De plus, ils peuvent être contre-productifs, parce que l'expérience immersive distrait. Finalement, Kenwright (2018) mentionne que les artefacts RV ont aussi le pouvoir de provoquer des traumatismes physiologiques importants. Selon Ramirez et LaBarge (2018), la RV est le médium le plus immersif sur le marché et permet à l'utilisateur de vivre des expériences qu'il ne peut différencier de la réalité, qu'ils nomment « l'expérience quasi réelle ». La technologie de la RV en 3D permet de recréer artificiellement des univers proches de la réalité, en utilisant des techniques qui reproduisent les effets de la profondeur de champ et des techniques qui reproduisent fidèlement les couleurs et les sons présents dans la réalité. L'avenue des casques HMD permet de soustraire l'utilisateur de tout élément extérieur et augmente l'immersion, ce qui pourrait amener des changements comportementaux chez l'individu causés par des modifications de nature psychologique ou neurologique.

La collaboration

Douze articles (12/29) sélectionnés abordent le thème de la collaboration et de l'interaction en réalité virtuelle. Altinpulluk (2019) indique que la RV permet l'interaction et la collaboration, offre un espace de création et permet une amélioration des compétences kinesthésique, visuelle et spatiale. Lee et Shea (2020) mentionnent que le dialogue permet aux apprenants d'élargir leur compréhension par l'interaction avec les autres. De plus, selon Sol Roo (2017), les environnements d'apprentissage RV ont la possibilité de permettre aux élèves de résoudre des problèmes en équipe partout sur la planète. Demitriadou *et al.* (2019) révèlent que les technologies RV et RA sont plus interactives et intéressantes pour les élèves que l'utilisation de matériaux conventionnels, puisqu'elles permettent aux apprenants d'approfondir leurs connaissances en tentant de résoudre et d'explorer un problème en équipe. Cooper *et al.* (2019) ajoutent que les environnements virtuels collaboratifs (CVE) autorisent une interaction entre les élèves, les enseignants et le contenu numérique. Sol Roo (2017) met en évidence les avantages liés à la collaboration en RV, notamment lorsqu'un expert explique à un apprenant à distance comment effectuer des manipulations complexes. Harvard (2018) ajoute que la RA permet à un utilisateur de communiquer en temps réel avec un expert à distance. La technologie répond ainsi à un besoin de partage de connaissances et de collaboration. De plus, Billingsley, Smith, Smith et Meritt (2019) affirment que la technologie RV et RA permet le contrôle et la rétroaction à distance.

Selon Pellas, Fotaris, Kazanidis et Wells (2019), le potentiel éducatif de la technologie RA est important, puisqu'il influence les capacités cognitives des élèves. Redondo *et al.* (2020) mentionnent d'ailleurs que la RA améliore l'interaction des élèves en classe. Pellas *et al.* (2019) ajoutent que la technologie RA améliore le processus métacognitif des élèves et leur engagement dans des activités fondées sur la pratique, notamment en apportant de la vie à des concepts invisibles, abstraits et complexes. Selon Redondo *et al.* (2019), l'interaction crée une atmosphère particulière selon laquelle les élèves améliorent leurs relations socioaffectives, à travers la coopération et le respect. Finalement, l'utilisation de la RA en classe augmente le désir de jouer et de partager avec les autres élèves (Redondo *et al.*, 2019).

La conception

Cinq articles (5/29) traitent de la conception des environnements 3D virtuels éducatifs. Les auteurs émettent des recommandations par rapport au matériel et aux applications. Pour commencer, nous présentons les nombreux périphériques utilisés en technologie virtuelle et poursuivons avec la description des principales recommandations pour les concepteurs d'applications.

On rencontre trois types d'interfaces en RV : l'écran fixe sur un ordinateur, les téléphones intelligents et les tablettes, et finalement, les casques HMD (Cook *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2018). Selon Wang *et al.* (2018), les casques conçus pour la RV sont différents de ceux pour la RA, puisque ces derniers superposent des éléments irréels sur des environnements bien réels. Cook *et al.* (2019) mentionnent que l'utilisation des casques HMD et la possibilité d'utiliser une panoplie d'applications sont un avantage intéressant pour le monde de l'éducation. L'étude d'Ucar *et al.* (2017) affirme qu'un dispositif haptique en 3D, qui offre « six degrés de liberté », améliore le transfert de connaissances.

Six degrés de liberté (6DoF) font référence à la liberté de mouvement d'un corps rigide dans un espace tridimensionnel. Plus précisément, le corps est libre de changer de position par une transition avant/arrière, haut/bas et gauche/droite, combinée à une rotation autour de trois axes perpendiculaires (normal, transversal et longitudinal).

Traduction libre de « Six degrees of freedom » (2020)

Abdusselam *et al.* (2018) ajoutent que la technologie virtuelle est intéressante, spécialement en éducation. Le casque HMD avec des applications 3D virtuelles et immersives dans les domaines de la chimie et de la physique est déjà employé dans des écoles secondaires (Andone et Frydenberg, 2019). Cependant, Cooper *et al.* (2019) mentionnent que les applications RV éducatives sont de qualités variables. De plus, plusieurs articles indiquent que la principale limite des technologies virtuelles éducatives est liée à la conception pédagogique des systèmes (Hite *et al.*, 2019; Ibili, 2019; Jensen et Konradsen, 2018; Lee et Shea, 2020; Yeh, Lan et Lin, 2018). Dans ce contexte, les concepteurs en technologie virtuelle doivent intégrer les caractéristiques qui influencent l'apprentissage, notamment pour soutenir la collaboration et l'engagement basé sur les connaissances, et permettre la coconstruction de connaissances (Pellas *et al.*, 2019). Pour Cooper *et al.* (2019), le contenu est crucial, et sans un contenu bien conçu qui améliore le transfert de connaissance à long terme, les technologies virtuelles n'ont aucun intérêt en éducation. Vallera (2019) ajoute que les technologies RV doivent accroître la compréhension de sujets complexes et démontrer une meilleure rétention de l'information. Sans oublier que pour favoriser le plaisir d'apprendre, il faut tenir compte de la théorie du « flow » de Csikszentmihalyi (1990). Selon cette théorie, pour que les tâches pédagogiques demeurent une activité amusante et motivante, elles doivent offrir une expérience qu'il nomme le « flow ». Il le décrit comme une activité qui apporte par elle-même un sentiment de satisfaction et d'immersion. Comme le mentionnent Edwards *et al.* (2019), il faut susciter l'engagement cognitif et influencer positivement l'engagement émotionnel de l'élève, notamment par la ludification de l'apprentissage.

Chang, Hsu, Wu et Tsai (2018) et Sauvé (2010) mentionnent l'importance de concevoir des tâches d'apprentissage avec des niveaux appropriés de difficulté et de mettre l'accent sur l'importance du fractionnement du contenu, en incorporant graduellement le niveau des exercices. Les recherches de Moreno (2006) sur les stratégies cognitives arrivent à la même conclusion, à savoir que lorsque l'on commence l'apprentissage d'un nouveau domaine, il est difficile de régulariser le flux des nouvelles connaissances. De plus, Yeh *et al.* (2018) et Bates (2017) indiquent que l'environnement virtuel doit être conçu selon le public cible, entre autres en tenant compte des différences entre les sexes et des besoins spécifiques d'apprentissage.

Ba *et al.* (2019) ajoutent que les nouvelles technologies éducatives doivent être conçues pour améliorer les activités de créations et de recherche dans le domaine des sciences. Cependant, il est primordial d'impliquer le corps enseignant lors de la conception des artefacts pour qu'il puisse incorporer le matériel pédagogique en classe (Ba *et al.*, 2019; Chang *et al.*, 2019; Cooper *et al.*, 2019). Selon Bates (2017), les outils pédagogiques doivent être conçus le plus proche possible de la réalité, ce qui améliore la cognition des apprenants et par le fait même offre un apprentissage efficace. Wang *et al.* (2018) ajoutent que l'utilisation des technologies de la RA réduit le temps de formation pour maîtriser certaines tâches. En

revanche, il est essentiel que le scénario et le design de l'artefact soient bien adaptés aux compétences critiques que l'on veut transférer à l'apprenant.

Liou *et al.* (2017) mentionnent que les applications RA offrent de meilleures performances éducationnelles que les applications RV, puisqu'elles intègrent des objets virtuels et des environnements réels afin de diminuer la charge mentale de l'apprenant. Selon Maas et Hughes (2020), les progrès rapides de la technologie et la diminution de leur coût facilitent son intégration dans le milieu scolaire. Cependant, l'accès au contenu virtuel demeure une contrainte en raison de la capacité de calcul des ordinateurs disponibles dans la plupart des écoles, de la maternelle à la 12^e année. Cook *et al.* (2019) et Hite *et al.* (2019) ajoutent que l'un des principaux défis de ce type de technologie d'apprentissage est le coût élevé de la conception et de la construction des environnements virtuels.

Selon Kenwright (2018), les nouvelles applications RV peuvent être innovantes en éducation. En revanche, Kenwright (2018) énumère les risques, notamment sur la santé des jeunes enfants à court terme et à long terme ainsi que sur les questions d'éthique. Ramirez et LaBarge (2018) indiquent que la RV offre l'opportunité de vivre des expériences très proches de la réalité, ce qui amène des problèmes éthiques. Ramirez et LaBarge (2018) affirment qu'il ne faudrait pas faire vivre aux utilisateurs des expériences qui sont mauvaises dans la réalité en RV. Selon Ramirez et LaBarge (2018), le fait d'être dans un monde virtuel ne doit pas alimenter certaines pulsions sociales malsaines, notamment le sexisme et le racisme.

Finalement, Casarin (2019) et Kenwright (2018) recommandent aux concepteurs d'effectuer des tests d'investigation et d'analyse avant leur mise en service. De plus, Casarin (2019) présente une série d'outils avec des mesures d'indicateurs de performance et d'analyse statistique permettant l'évaluation des artefacts virtuels.

Les avantages

Selon Ba *et al.* (2019), la RV et la RA sont perçues par les experts comme des technologies d'avenir en éducation, ces auteurs s'appuyant sur plusieurs études dans le domaine des sciences. Nous avons répertorié les principaux avantages recensés de ces technologies dans les articles sélectionnés. Nous les présentons en les regroupant avec les principaux auteurs qui abordent les sujets :

- permet de manipuler des objets dans des environnements dangereux de manière sécuritaire (Abdusselam *et al.*, 2018; Altinpulluk, 2019; Bates, 2017; Cooper *et al.*, 2019; Chen, Zhang, Luczak, Smith et Burch, 2019; Jensen et Konradsen, 2018; Makransky *et al.*, 2019; Ucar *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018);
- réduit les coûts de formation dans plusieurs domaines d'études, notamment l'utilisation de laboratoires de chimie et de biologie, qui requièrent des investissements importants et qui comportent des risques pour les apprenants et pour l'environnement (Cook *et al.*, 2019; Cooper *et al.*, 2019; Pelas *et al.*, 2019; Ucar *et al.*, 2017);
- offre la possibilité de visiter des sites géographiques éloignés et de découvrir des univers qui ne sont pas accessibles (Altinpulluk, 2019; Bates, 2017);
- augmente la possibilité pour les apprenants de contrôler leur apprentissage et offre un engagement sensoriel similaire au processus naturel d'apprentissage d'un enfant (Abdusselam *et al.*, 2018; Altinpulluk, 2019; Garzón *et al.*, 2019);

- améliore l'acuité spatiale, la créativité et le processus métacognitif des élèves (Blakesley, 2018; Demitriadou *et al.*, 2020; Hite *et al.*, 2019);
- offre la possibilité de communiquer à distance en temps réel avec un expert; de plus les dispositifs portables, notamment les casques HMD, présentent une opportunité innovante pour le domaine médical et éducationnel (Billingsley *et al.*, 2019; Cooper *et al.*, 2019; Edwards *et al.*, 2019; Harvard, 2018; Maas et Hughes, 2020);
- favorise la motivation, l'engagement et le transfert de connaissances (Abdusselam *et al.*, 2018; Altinpulluk, 2019; Andone et Frydenberg, 2019; Bates, 2017; Che Hashim *et al.*, 2018; Cooper *et al.*, 2019; Makransky *et al.*, 2019; Redondo *et al.*, 2020; Ucar *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018);
- facilite l'interaction et améliore la collaboration entre les apprenants et les enseignants (Billingsley *et al.*, 2019; Demitriadou *et al.*, 2020; Ibili, 2019; Lee et Shea, 2020; Redondo *et al.*, 2020);
- réduit la charge cognitive étrangère, améliore la mémoire de travail et la rétention de l'information (Lacko, 2019; Vallera, 2019; Yoon *et al.*, 2017);
- améliore la compréhension des phénomènes abstraits et complexes, notamment avec les applications haptiques lors des manipulations dans les laboratoires (Pelas *et al.*, 2019; Sol Roo, 2017; Vallera, 2019; Ucar *et al.*, 2017; Yoon *et al.*, 2017).

Les limites

Tout n'étant pas parfait, nous avons répertorié les principales limites de la RV et de la RA recensées dans les articles sélectionnés. Nous les présentons en les regroupant avec les principaux auteurs qui abordent les sujets :

- nécessite des investissements financiers importants pour l'implantation de la technologie et la formation du personnel des maisons d'enseignement (Cook *et al.*, 2019; Cooper *et al.*, 2019; Garzón *et al.*, 2019; Hite *et al.*, 2019; Lee et Shea, 2020; Maas et Hughes, 2020; Pelas *et al.*, 2019; Reynard, 2017; Redondo *et al.*, 2020);
- aucune étude exhaustive sur les performances de la RV pour l'acquisition de connaissances concrètes et la rétention de connaissances (Herbert *et al.*, 2018; Lanier *et al.*, 2019; Makransky *et al.*, 2019);
- la cybersécurité et les questions éthiques qui doivent être abordées. (Cooper *et al.*, 2019; Jensen et Konradsen, 2018; Kenwright, 2018);
- applications non conformes, mal conçues et formation des enseignants déficiente (Hite *et al.*, 2019; Ibili, 2019; Lee et Shea, 2020; Reynard, 2017; Yeh *et al.*, 2018);
- insuffisance de recherches pour enquêter sur les répercussions de la RV en psychologique, en particulier sur les jeunes enfants (Cook *et al.*, 2019; Herbert *et al.*, 2018; Ibili, 2019; Kenwright, 2018);
- possibles traumatismes physiologiques et changements comportementaux chez l'individu causés par des modifications de nature psychologique ou neurologique (Kenwright, 2018; Ramirez et LaBarge, 2018);

- charge cognitive additionnelle du média pour l'apprenant (Altinpulluk, 2019; Chang *et al.*, 2018; Cook *et al.*, 2019; Jensen et Konradsen, 2018; Makransky *et al.*, 2019);
- le manque d'acceptabilité sociale des technologies immersives (Tham, McGrath, Duin et Moses, 2018);
- la distraction, le temps d'utilisation et de l'intégration de la technologie sont trop longs (Chen *et al.*, 2020);
- le développement des applications éducatives peut être assez complexe et dispendieux (Cook *et al.*, 2019; Hite *et al.*, 2019);
- la possibilité de souffrir de cybermalaise, notamment lors de l'utilisation des casques HMD en RV. Les symptômes sont similaires au mal des transports, entre autres la nausée et des difficultés respiratoires (Casarin, 2019; Cook *et al.*, 2019; Kenwright, 2018; Somrak *et al.*, 2019).

Discussion et commentaires de nature réflexive

Selon la revue de littérature, les artefacts éducatifs conçus en réalité virtuelle et en réalité augmentée peuvent améliorer l'attention et la cognition. Cependant, pour qu'ils soient efficaces, ils doivent inclure non seulement des méthodes d'instructions adaptées aux publics cibles, mais aussi utiliser un média approprié pour le domaine de connaissance de la formation visée. Nous sommes d'accord avec la conclusion de Moreno (2006) : la méthode utilisée et le choix de média doivent être cohérents, puisque les deux éléments se complètent. Veermans et Jaakkola (2019) indiquent qu'il faudrait davantage se concentrer sur le design des artefacts, pour trouver un équilibre entre le plaisir de manipuler l'outil et ses capacités à transférer les connaissances. Altinpulluk (2019) ajoute que la RV permet l'interaction et la collaboration, offre un espace de création et permet une amélioration des compétences kinesthésique, visuelle et spatiale. Malheureusement, les technologies actuelles limitent l'utilisation de la RV, sans oublier les coûts associés à l'intégration du matériel et le peu d'applications en contexte scolaire. Ajoutons que leurs acceptabilités sociales sont faibles, autant auprès des enseignants que des parents.

De plus, nous nous interrogeons sur les dangers associés à la réalité virtuelle. Selon Ramirez et LaBarge (2018) et Kenwright (2018), la RV pourrait amener des changements comportementaux chez l'individu, causés par des modifications de nature psychologique ou neurologique. Sans oublier le risque d'éprouver un cybermalaise (Kenwright, 2018; Somrak *et al.*, 2019). La rareté des études sur les risques que peuvent faire subir les technologies immersives, particulièrement aux jeunes enfants (Herbert *et al.*, 2018; Ibili, 2019; Kenwright, 2018), nous incite à la prudence. Pour minimiser les risques associés aux applications immersives, leur introduction en milieu scolaire doit se faire progressivement et être revue périodiquement selon les résultats des tests d'investigation et d'analyse qui ont été intégrés lors de leur création (Kenwright, 2018).

Nous soulignons également l'importance d'accélérer les recherches sur les phénomènes qui influencent les utilisateurs des technologies virtuelles et ainsi permettre aux concepteurs de produire des artefacts pédagogiques plus sécuritaires et mieux adaptés aux usagers.

Ce rapport permet d'améliorer nos connaissances sur la conception de plusieurs éléments essentiels qui influencent l'efficacité d'un artefact éducatif en RV et en RA, notamment de mettre en place un média qui tient compte de la charge cognitive du public cible, des inconvénients associés à l'utilisation d'artefacts immersifs et de l'importance de la théorie du « flow » en intégrant la dimension ludique et la dimension sérieuse de manière cohérente (Csikszentmihalyi, 1990).

Finalement, la conception d'applications virtuelles se complexifie lorsqu'il faut travailler avec des technologies qui ne sont pas encore disponibles. Il faudra, comme le mentionne Blevins (2018), être visionnaire, appréhender le futur et être flexible tout au long du processus de conception pour effectuer les modifications nécessaires.

Conclusion

Le but d'un système d'apprentissage virtuel est d'atteindre les objectifs pédagogiques par le transfert de nouvelles connaissances et de compétences. Les médias et les méthodes doivent s'aligner pour former un tout convivial et être adaptés aux habiletés visées. Selon Bates (2017), Moreno (2006), Sauvé (2010) et Wang *et al.* (2018), il est essentiel que le scénario et le design de l'artefact soient bien adaptés aux compétences critiques que l'on veut transférer à l'apprenant.

Avant tout, il ne faut pas oublier que les technologies éducatives sont des outils au service des humains et que leur conception doit avant tout être fondée sur les théories motivationnelles ainsi que sur les théories éducatives dans le but de répondre aux objectifs pédagogiques de la formation. Ce que nous avons découvert, c'est que la majorité des études qui ont été réalisées sur le sujet confirment que si les artefacts éducatifs sont bien conçus, ils sont utiles pour l'apprentissage (Altinpulluk, 2019, Andone et Frydenberg, 2019, Blakesley, 2018, Makransky *et al.*, 2019). Cependant, ils doivent être crées en tenant compte des intérêts et des capacités des élèves. Fernandez (2017) mentionne que l'objectif en éducation est d'améliorer le transfert de connaissances aux apprenants et non pas de promouvoir un outil. Le système d'éducation doit offrir les meilleurs outils et programmes dans le but d'atteindre cet objectif (Fernandez, 2017).

Finalement, il est également important de s'interroger sur les risques associés à la RV. Selon Kenwright (2018) et Ramirez et LaBarge (2018), la RV pourrait amener des changements comportementaux chez l'individu causés par des modifications de nature psychologique ou neurologique. Quant à eux, Jensen et Konradsen (2018) et Somrak *et al.* (2019) font remarquer les risques en RV de vivre les effets secondaires « du cybermalaise ».

Ce travail a permis d'identifier les avantages pédagogiques probables des technologies virtuelles et ses limites. Cependant, il faut rester prudents, vu les risques d'abus ou de mauvaises utilisations, ou même vu les risques d'une conception non adaptée aux élèves. Il est essentiel que d'autres recherches soient entreprises pour évaluer les risques associés à une utilisation abusive des technologies. Comme l'indiquent Bates (2017) et Jensen et Konradsen (2018), les études dans le domaine de connaissances des technologies virtuelles éducatives doivent s'accroître.

Liste de références

- Abdusselam, M. S., Kilis, S., Şahin Çakır, Ç., et Abdusselam, Z. (2018). Examining Microscopic Organisms under Augmented Reality Microscope: A 5E Learning Model Lesson. *Science Activities*, 55(1/2), 68-74.
- Alexander, B., Ashford-Rowe, K., Barajas-Murphy, N., Dobbin, G., Knott, J., McCormack, M., Pomerantz, J., Seilhamer, R. et Weber, N. (2019). *EDUCAUSE Horizon Report: 2019*. Higher Education Edition. Louisville, CO: EDUCAUSE. <https://library.educause.edu/media/files/library/2019/4/2019horizonreport.pdf?la=en&hash=C8E8D444AF372E705FA1BF9D4FF0DD4CC6F0FDD1>
- 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>
- Andone, D. et Frydenberg, M. (2019). Creating virtual reality in a business and technology education context. Dans Tom Dieck, M. C. et Jung, T. (dir.), *Augmented reality and virtual reality* (p. 147-159). Switzerland, Springer Nature.
- Ba, R., Xie, Y., Zhang, Y., Faatihah Binte Mohd Taib, S., Cai, Y., Walker, Z., Chen, Z., Tan, S., Hoe Chow, B., Min Lim, S., Pang, D., Lin Goei, S., Matimba, H. E. K. et van Joolingen, W. (2019). Virtual reality enzymes: an interdisciplinary and international project towards an inquiry-based pedagogy. Dans Cai, Y., van Joolingen, W. et Walker, Z. (dir.), *VR, simulations and serious games for education* (p. 45-54). Singapore, Springer Nature.
- Bates, T. (2017). *Virtual reality and education: some thoughts*. Online Learning and Distance Education Ressources, 27 juillet 2017. <https://www.tonybates.ca/2017/07/27/virtual-reality-and-education-some-thoughts/>
- Billingsley, G., Smith, S., Smith, S. et Meritt, J. (2019). A Systematic Literature Review of Using Immersive Virtual Reality Technology in Teacher Education. *Journal of Interactive Learning Research*, 30(1), 65-90. <http://www.learnlib.org/p/176261/>
- Blakesley, D. (2018). Composing the un/real future. *Computers and Composition*, 2018(50), 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2018.07.005>
- Blevins, B. (2018). Teaching digital literacy composing concepts: Focusing on the layers of augmented reality in an era of changing technology. *Computers and Composition*, 2018(50): 21-38. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2018.07.003>
- Casarin, J. (2019). *Proposition d'un protocole web pour la collaboration multi-support en environnement 3D : UMI3D*. Web. Université de Strasbourg, 2019. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02518604/document>
- 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*. Presses Universitaires de France « Enfance ». 2019(3), 413-426. <https://doi.org/10.3917/enf2.193.0413>
- Chang, H.-Y., Hsu, Y.-S., Wu K.-H. et Tsai, C.-C. (2018). Students' development of socio-scientific reasoning in a mobile augmented reality learning environment. *International Journal of Science Education*, 40(12), 1410-1431. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1480075>
- Chartier, P. (1995). La réalité virtuelle : voyage au-delà du gadget. *Documentation et bibliothèques*, 41(1), 39-46. <https://doi.org/10.7202/1033351ar>
- Che Hashim, N., Abd Majid, N. A., Arshad, H. et Khalid Obeidy, W. (2018, juin). User Satisfaction for an Augmented Reality Application to Support Productive Vocabulary Using Speech Recognition. *Advances in Multimedia*, 2018, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/9753979>
- Chen, C., Zhang, L., Luczak, T., Smith, E. et Burch, R. (2019). Using Microsoft HoloLens to improve memory recall in anatomy and physiology: A pilot study to examine the efficacy of using augmented reality in education. *Journal of Educational Technology Development & Exchange*, 12(1), 17-31. <https://doi.org/10.18785/jetde.1201.02>
- Chen, Y., Smith, T. J., York, C. S. et Mayall, H. J. (2020). Google Earth Virtual Reality and expository writing for young English Learners from a Funds of Knowledge perspective. *Computer Assisted Language Learning*, 33(1/2), 1-25. <https://doi.org/10.1080/09588221.2018.1544151>
- Cook, M., Lischer-Katz, Z., Hall, N., Hardesty, J., Johnson, J., McDonald, R. et Carlisle, T. (2019). Challenges and Strategies for Educational Virtual Reality: Results of an Expert-led Forum on 3D/VR Technologies across Academic Institutions. *Information Technology & Libraries*, 38(4), 25-48. <https://doi.org/10.6017/ITAL.V38I4.11075>
- Cooper, G., Park, H., Nasr, Z., Thong, L.-P. et Johnson, R. (2019). Using virtual reality in the classroom: preservice teachers' perceptions of its use as a teaching and learning tool. *Educational Media International*, 56(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/09523987.2019.1583461>

- Csikszentmihalyi, M. (1990). Literacy and intrinsic motivation. *Daedalus*, 119 (2), Literacy in America, 115-140.
<http://www.jstor.org/stable/20025303>
- Demitriadou, E., Stavroulia, K.-E. et Lanitis, A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education & Information Technologies*, 25(1), 381-401.
<https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>
- Durlach, N. I., Mavor, A. S., et National Research Council (États-Unis). (1995). *Réalité virtuelle : défis scientifiques et technologiques*. Presse des académies nationales.
- Edwards, B. I., Bielawski, K. S., Prada, R., et Cheok, A. D. (2019). Haptic virtual reality and immersive learning for enhanced organic chemistry instruction. *Virtual Reality*, 23(4), 363-373. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0345-4>
- Fernandez, M. (2017). Augmented virtual reality: how to improve education systems. *Higher Learning Research Communications*, 7(1), 1-15. <https://doi.org/10.18870/hlrc.v7i1.373>
- Garzón, J., Pavón, J. et Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*, 23(4), 447-459. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>
- Havard, V. (2018). *Développement de méthodes et outils basés sur la réalité augmentée et virtuelle pour l'assistance ou l'apprentissage d'opérations dans un contexte industriel*. Ingénierie assistée par ordinateur [thèse de doctorat, Normandie Université. France]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01713362>
- Herbert, B., Ens, B., Weerasinghe, A., Billighurst, M. et Wigley, G. (2018). Design considerations for combining augmented reality with intelligent tutors. *Computer & Graphics*, 2018(77): 166-182. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.09.017>
- Hite, R. L., Jones, M. G., Childers, G. M., Ennes, M., Chesnutt, K., Pereyra, M. et Cayton, E. (2019). Investigating Potential Relationships Between Adolescents Cognitive Development and Perceptions of Presence in 3-D, Haptic-Enabled, Virtual Reality Science Instruction. *Journal of Science Education & Technology*, 28(3), 265-284.
<https://doi.org/10.1007/s10956-018-9764-y>
- 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>
- Immersion / Présence. (2019). *Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO*.
<http://w3.uqo.ca/cyberpsy/index.php/immersion-et-presence/>
- Jégou, G. et Pallamin, N. (2017, mai). L'évaluation des usages et des comportements en univers immersifs : Quelques enjeux actuels. *Réalités Industrielles*, 50-53, 94, 98, 104, 106-107.
- Jensen, L. et Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education & Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- 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>
- Lacko, L. (2019). *Cultural heritage objects in education by virtual and augmented reality*. Dans Tom Dieck, M.C. et Jung, T. (2019) (p. 175-187). Augmented reality and virtual reality. Springer.
- Lanier, M., Waddell, F., Elson, M., Tamul, D. J., Ivory, J. D. et Przybylski, A. (2019). Virtual reality check: Statistical power, reported results, and the validity of research on the psychology of virtual reality and immersive environments. *Computers in Human Behavior*, 2019(100), 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.06.015>
- Lee, C. K. et Shea, M. (2020). Exploring the use of virtual reality by pre-service elementary teachers for teaching science in the elementary classroom. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(2), 163-177.
<https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1726234>
- Leung, A. K. et Hon, K. L. (2019, décembre). Motion sickness: an overview. *Drugs in context*.
<https://doi.org/10.7573/dic.2019-9-4>
- Liou, H.-H., Yang, S. J. H., Chen, S. Y. et Tarn, W. (2017). The Influences of the 2D Image-Based Augmented Reality and Virtual Reality on Student Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 20(3), 110-121.
- Long, M., Wood, C., Littleton, K., Passenger, T. et Sheehy, K. (2011). *The psychology of education*, 2nd ed. Routledge.
- Lowood, H. E. (2019). Virtual reality. Dans *Encyclopædia Britannica*. Récupéré le 28 mai 2020 du site
<https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>
- 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>

- Makransky, G., Borre-Gude, S. et Mayer, R. E. (2019). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(6), 691-707. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>
- Mildner, F., Stamer, N. et Effelsberg, W. (2015). From game characteristics to effective learning games. Dans S. Göbel, M. Ma, J. Baalsrud Hauge, M. F. Oliveira, J. Wiemeyer et V. Wendel (dir.). *Serious Games*. Proceedings of the First Joint International Conference (JCSG), (vol. 9090, p. 51-62). Springer. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-19126-3>
- Moreno, R. (2006). Learning in high-tech and multimedia environments. *Current Directions in Psychological Science*, 15(2), 63-67. <https://doi.org/10.1111%2Fj.0963-7214.2006.00408.x>
- Piaget J. (2003). Cognitive development in children: Development and learning. *Journal of Research In Science Teaching*, 2003(40), S8–S18. <https://doi.org/10.1002/tea.10090>. Article original publié dans JRST 2(3), 176-186 (1964). <https://doi.org/10.1002/tea.3660020306>
- Pellas, N., Fotaris, P., Kazanidis, I. et Wells, D. (2019). Augmenting the learning experience in primary and secondary school education: a systematic review of recent trends in augmented reality game-based learning. *Virtual Reality*, 23(4), 329-346. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0347-2>
- Ramirez, E.J. et LaBarge, S. (2018). Real moral problem in the use of virtual reality. *Ethics and Information Technology*, 2018(20), 249-263. <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9473-5>
- Redondo, B., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A. et Sánchez Ruiz, R. (2020). Integration of Augmented Reality in the Teaching of English as a Foreign Language in Early Childhood Education. *Early Childhood Education Journal*, 48(2), 147-155. <https://doi.org/10.1007/s10643-019-00999-5>
- Reynard, R. (2017, 26 mai). The impact of virtual reality on learning. *The Journal*. <https://thejournal.com/articles/2017/05/09/the-impact-of-virtual-reality-on-learning.aspx>
- Sauvé, L. (2010). Les jeux éducatifs efficaces. Dans L. Sauvé et D. Kaufman (dir.), *Jeux et simulations éducatifs* (p. 43-72). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec.
- Six degrees of freedom. (2020, 11 avril). Dans Wikipédia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Six_degrees_of_freedom&oldid=950326946
- Sol Roo, J. (2017). *One reality: augmenting the human experience through the combination of physical and digital worlds* [thèse de doctorat, Université de Bordeaux, France]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01702720>
- 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 evaluating study. *Future Generation Computer Systems*, 2019(94), 302-316. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.11.041>
- Tham, J., McGrath, M., Duin, A.H. et Moses, J. (2018). Introducing: Immersive technologies and writing pedagogy. *Computers and Composition*, 2018(50), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2018.08.001>
- Ucar, E., Ustunel, H., Civelek, T. et Umut, I. (2017). Effects of using a force feedback haptic augmented simulation on the attitudes of the gifted students towards studying chemical bonds in virtual reality environment. *Behaviour & Information Technology*, 36(5), 540-547. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1264483>
- Vallera, F. L. (2019). Durkheim Said What?: Creating Talking Textbooks With Augmented Reality and Project-Based Activities. *Journal of Research on Technology in Education*, 51(3), 290-310. <https://doi.org/10.1080/15391523.2019.1617809>
- Veermanders, K. et Jaakkola, T. (2019). Pedagogy in educational simulations and games. Dans Y. Cai, W. van Joolingen et Z. Walker (dir.), *VR, Simulations and Serious Games for Education* (p. 5-14). Springer.
- Wang, M., Callaghan, V., Bernhardt, J., White, K. et Peña-Rios, A. (2018). Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 2018(9), 1391-1402. <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0547-8>.
- Yeh, Y.-L., Lan, Y.-J. et Lin, Y.-T. R. (2018). Gender-Related Differences in Collaborative Learning in a 3D Virtual Reality Environment by Elementary School Students. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(4), 204-216. <https://www.jstor.org/stable/26511549>
- Yoon, S., Anderson, E., Lin, J., et Elinich, K. (2017). How Augmented Reality Enables Conceptual Understanding of Challenging Science Content. *Journal of Educational Technology & Society*, 20(1), 156-166. <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.20.1.156>