



## La réalité virtuelle comme moteur pour générer une expérience positive d'enseignement et d'apprentissage des sciences

### Virtual Reality as a Driver to Generate Positive Teaching and Learning Experiences in the Sciences

<https://doi.org/10.18162/ritpu-2024-v21n2-12>

Christine MARQUIS<sup>a</sup> ✉ Cégep de Saint-Jérôme, Canada

Bruno POELLHUBER<sup>a</sup> ✉  Université de Montréal, Canada

Sébastien WALL-LACELLE ✉ Cégep de Saint-Jérôme, Canada

Marie-Noëlle FORTIN ✉ Université de Montréal, Canada

Camille BERTRAND ✉ Université Laval, Canada

Mis en ligne : 19 novembre 2024

### Résumé

Cet article vise à analyser l'expérience d'étudiants et étudiantes ainsi que d'enseignants et enseignantes ayant expérimenté un scénario pédagogique intégrant des applications en réalité virtuelle sur ordinateur (RVO) ou en réalité virtuelle immersive (RVI) avec casque dans des cours de sciences. Une approche mixte de recherche orientée par la conception a été déployée dans six collèges et une université. En mobilisant les cadres de l'expérience utilisateur, la théorie des attentes et de la valeur et la théorie de l'engagement, des entrevues de groupe ont été menées et des questionnaires ont été soumis à un grand nombre de personnes enseignantes et étudiantes. Pour la RVO, l'expérience des enseignantes et enseignants est marquée par les avantages pédagogiques qu'ils perçoivent. Les étudiantes et étudiants, eux, mettent de l'avant les aspects affectifs de leur expérience tels que le plaisir et l'engagement affectif ainsi que l'aide à l'apprentissage et la visualisation. Pour la RVI, l'aspect novateur et ludique de l'expérience est mis en avant, renforçant la motivation étudiante. Les données des questionnaires ont confirmé ces tendances, montrant des scores élevés pour l'engagement affectif et la valeur affective, aussi bien pour la RVO que pour la RVI. En conclusion, la réalité virtuelle est un outil prometteur pour rejoindre les étudiants et étudiantes en sciences et les amener à s'engager affectivement.

### Mots-clés

Réalité virtuelle, expérience, apprentissage des sciences, émotions, recherche orientée par la conception, motivation, engagement, valeur

(a) GRIIPTIC.



## Abstract

The aim of this article is to analyze the experience of students and teachers who have experimented with a teaching scenario for science courses, integrating computer-based virtual reality (CVR) or immersive virtual reality (IVR) applications using headsets. A mixed approach to design-based research was used in six CEGEPS and one university. Mobilizing the framework of user experience, expectancy-value theory and engagement theory, group interviews were conducted, and questionnaires were administered to a large number of teachers and students. For CVR, the teachers' experience is determined by the perceived pedagogical benefits. Students, on the other hand, emphasize the emotional aspects of their experience, such as enjoyment and affective engagement, as well as relevance for learning support and visualization. For immersive IVR, the innovative and playful aspect of the experience is highlighted, boosting student motivation. The questionnaire data confirm these trends, showing high scores for affective engagement and affective value scores for both CVR and IVR. In conclusion, VR is a promising tool for reaching science students and engaging them affectively.

## Keywords

Virtual reality, experience, science learning, emotions, design-based research, motivation, engagement, value

---

## Introduction

### Problématique

Les sciences et les technologies sont omniprésentes dans notre société contemporaine (Conseil de la science et de la technologie, 2004; OCDE, 2018), ce qui fait de l'enseignement des sciences et des technologies un enjeu de société majeur. Il importe, en effet, de développer une culture scientifique de base pour tout citoyen (OCDE, 2018). Malgré cela, les chercheurs s'entendent sur le fait que l'intérêt des étudiants et étudiantes pour les sciences et la technologie à l'école est en déclin, et ce, partout à travers le monde (Potvin et Hasni, 2014a). Cet intérêt diminuerait au fur et à mesure que les élèves progressent dans le système scolaire (Christidou, 2011; Potvin et Hasni, 2014a).

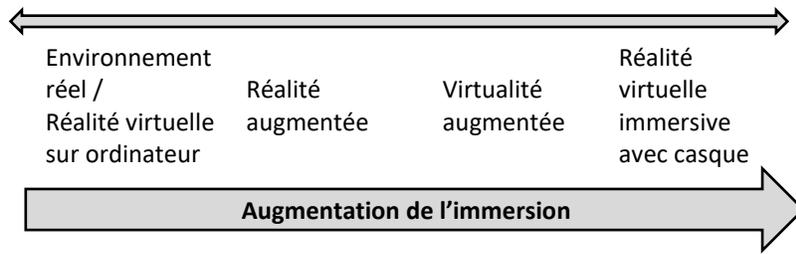
Plusieurs facteurs peuvent être évoqués pour expliquer la baisse d'intérêt des étudiantes et étudiants inscrits dans les programmes scientifiques. D'une part, la science apparaît souvent difficile à apprendre pour ceux-ci à cause, entre autres, de l'abstraction des concepts qui y sont présentés (Johnstone, 1991). Les sciences et technologies sont, en effet, considérées comme de plus en plus difficiles au fil du temps en comparaison avec les autres matières (Potvin et Hasni, 2014a). De plus, le manque de contextualisation des concepts présentés fait en sorte que les étudiants et étudiantes voient les contenus enseignés dans les cours de sciences comme étant abstraits et déconnectés des problèmes de la vie de tous les jours (Barnby *et al.*, 2008; Örnek *et al.*, 2008). Les méthodes d'enseignement sont aussi mises en cause pour expliquer cette baisse d'intérêt (Anderhag *et al.*, 2016; Potvin et Hasni, 2014a). L'approche « traditionnelle » reposant essentiellement sur l'enseignement magistral serait encore utilisée de façon importante pour l'enseignement des sciences (Stains *et al.*, 2018; Børte *et al.*, 2023; Rosenfield *et al.*, 2005), bien que les avantages de l'apprentissage actif aient été démontrés (Freeman *et al.*, 2014;) et que de plus en plus d'initiatives en ce sens aient vu le jour. Dans ce contexte, l'utilisation des technologies

telles que la réalité virtuelle, combinée à des approches d'apprentissage actif, semble être une voie prometteuse pour l'éducation.

Freina et Ott (2015) définissent la réalité virtuelle (*virtual reality*) de cette façon : « *computer-generated simulation of a three-dimensional image or environment that can be interacted with in a seemingly real or physical way by a person using special electronic equipment, such as a helmet with a screen inside or gloves fitted with sensors*<sup>1</sup> ». Selon Pellas et ses collaborateurs (2020, p. 1) « *Immersive VR allows each user to be immersed in a digital environment generated by a computing system, giving the impression of realness, spatial presence, and engagement in a first-person form*<sup>2</sup> ». Enfin, Sherman et Craig (2018) la définissent en ces termes : « *a medium composed of interactive computer simulations that sense the participant's position and actions and replace or augment the feedback to one or more senses, giving the feeling of being mentally immersed or present in the simulation*<sup>3</sup> » (p.16). Bien qu'il existe plusieurs définitions pour la réalité virtuelle, les concepts d'immersion, de présence et d'interactivité ressortent de ces définitions.

L'interactivité décrit à quel point un utilisateur peut influencer la forme ou le contenu d'un environnement virtuel (Steuer, 1992). Un environnement virtuel interactif ne permettra pas seulement à l'utilisateur de naviguer et d'explorer, mais fera en sorte que le monde virtuel s'adapte à ses réponses (Ryan, 1999). Selon Witmer et Singer (1998), la présence se définit par l'expérience subjective d'être à un certain endroit même si vous vous trouvez physiquement dans un autre. Ils soutiennent que les attributs d'immersion et d'implication de l'environnement virtuel favoriseront ce sentiment de présence. Après une revue de la littérature existante portant sur le concept, Lee (2004) définit ainsi la présence : « un état psychologique dans lequel les objets virtuels sont vécus comme des objets réels de manière sensorielle ou non. » L'immersion est ce qui permet l'introduction de la croyance, chez la personne qui expérimente la réalité virtuelle, qu'elle a quitté le monde réel et qu'elle est maintenant « présente » dans l'environnement virtuel (Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO, s.d.). L'immersion peut être considérée de différentes façons. Du point de vue psychologique, on la considère comme un état psychologique caractérisé par la perception d'être enveloppé par, inclus dans, et d'interagir avec un environnement qui fournit un flux de stimuli et d'expériences (Witmer et Singer, 1998). D'autres voient l'immersion comme un attribut technologique des systèmes de réalité virtuelle pouvant fournir une illusion de réalité inclusive, vaste, environnante et vive (Slater et Wilbur, 1997). L'immersion dépendrait ainsi de la technologie utilisée pour générer l'environnement virtuel. Celui-ci sera donc plus immersif si la technologie permet de couper la personne du réel (inclusive), si elle propose plusieurs stimuli sensoriels (vaste), si elle peut offrir un champ de vision panoramique (environnante) et si elle présente un réalisme graphique (vivacité). On peut alors établir différents niveaux d'immersion dans le continuum réalité-virtualité d'après les caractéristiques des outils utilisés pour faire de la réalité virtuelle (figure 1).

- 
1. Une simulation générée par un ordinateur d'une image ou d'un environnement tridimensionnel avec lequel il est possible d'interagir d'une manière qui semble réelle.
  2. La réalité virtuelle immersive permet à un utilisateur d'être immergé dans un environnement numérique généré par un système informatique, en donnant une impression de réalité, de présence spatiale et d'engagement sous une forme à la première personne.
  3. Un support composé de simulations informatiques interactives qui détectent la position et les actions du participant et remplacent ou augmentent la rétroaction à un ou plusieurs sens, donnant le sentiment d'être mentalement immergé ou présent dans la simulation.



**Figure 1**

*Représentation simplifiée du continuum réalité-virtualité en lien avec l'immersion. Inspiré de P. Milgram et F. Kishino (1994)*

Considérant ces caractéristiques, la réalité virtuelle offre plusieurs avantages pour l'éducation sur lesquels plusieurs auteurs se sont penchés (Lewis *et al.*, 2021). Dalgarno et Lee (2010) résument ces avantages en cinq affordances pour l'apprentissage :

- **Représentation spatiale des connaissances.** Les environnements virtuels d'apprentissage (EVA) peuvent être utilisés pour organiser des activités d'apprentissage qui favorisent les connaissances spatiales d'un certain domaine. La possibilité de se déplacer librement dans l'EVA en 3D, de l'observer depuis n'importe quelle position et l'interaction avec les objets à l'intérieur de celui-ci peuvent contribuer au développement de ces connaissances.
- **Apprentissages expérientiels.** Les EVA en 3D peuvent être utilisés pour faciliter les tâches d'apprentissage par l'expérience qui seraient difficiles ou impossibles à entreprendre dans le monde réel (p. ex., parce que dispendieuses, dangereuses ou risquées). Les EVA peuvent aussi être utiles pour l'apprentissage de concepts abstraits qui n'ont souvent pas d'existence propre dans la réalité et qui sont souvent imperceptibles par les sens.
- **Motivation et engagement.** Les tâches d'apprentissage dans les environnements virtuels d'apprentissage en 3D peuvent favoriser la motivation intrinsèque et l'engagement pour la matière à apprendre. Ceci peut s'expliquer notamment par la possibilité de faire des choix pour atteindre des objectifs ainsi que par des approches basées sur le jeu et la narration retrouvées dans les environnements virtuels.
- **Apprentissage en contexte.** Les EVA peuvent être utilisés pour organiser des activités d'apprentissage qui favorisent le transfert des apprentissages et des habiletés dans des situations de la vie réelle par la contextualisation des apprentissages. L'application des connaissances et des compétences nouvellement acquises sera plus efficace si l'environnement d'apprentissage est calqué sur le contexte dans lequel les connaissances sont censées être appliquées dans le monde réel. Comme les technologies 3D peuvent offrir des niveaux de réalisme et d'interactivité compatibles avec le monde réel, les connaissances apprises dans un environnement virtuel 3D devraient être plus facilement transférables dans l'environnement réel.
- **Apprentissage collaboratif.** Les environnements virtuels d'apprentissage immersifs peuvent maintenant fournir des environnements collaboratifs dans lesquels l'apprentissage peut se faire en équipe en recourant à l'apprentissage social.

Les avantages offerts par la réalité virtuelle ont été fortement documentés depuis ce temps, notamment, dans diverses méta-analyses, méta-synthèses et revues de la littérature (Coban *et al.*, 2022; Freina et Ott, 2015; Lewis *et al.*, 2021; Marougkas *et al.*, 2023; Pellas *et al.*, 2020), dont :

- Une amélioration des résultats d'apprentissage;

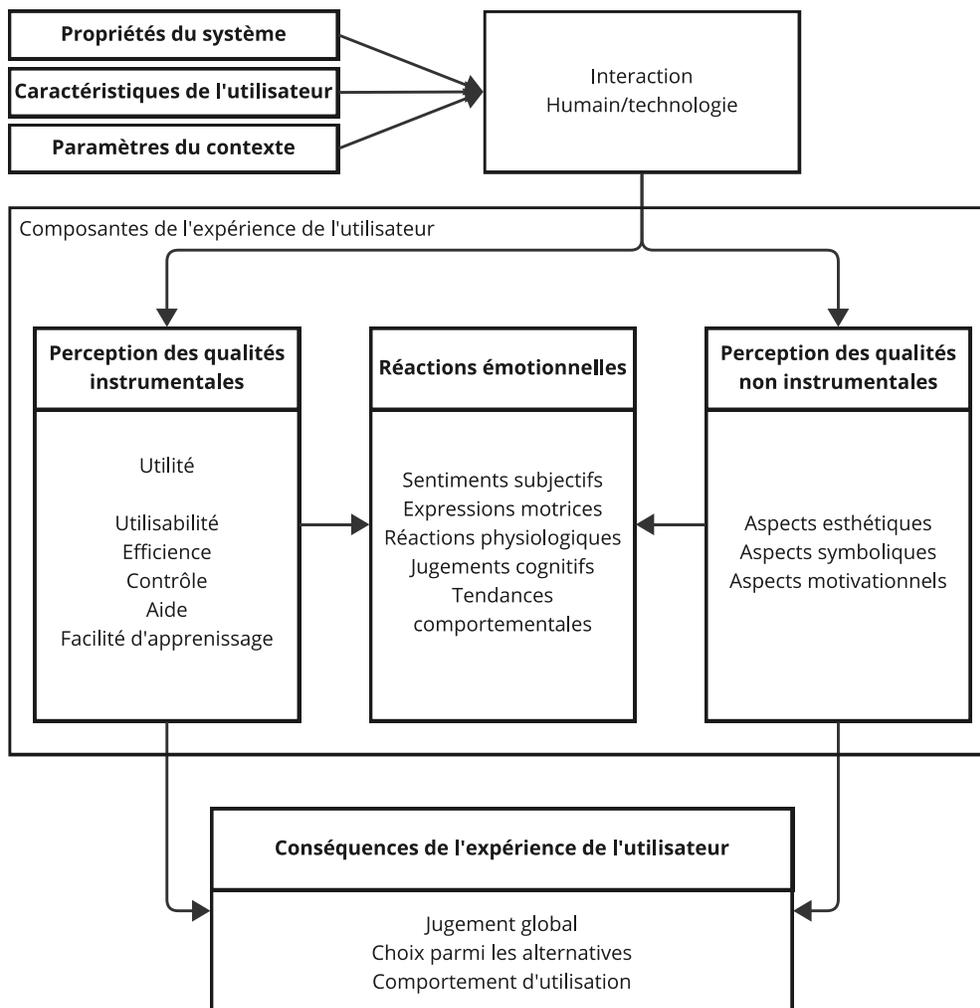
- Une augmentation de la motivation et de l'engagement étudiant;
- Une amélioration de la compréhension des concepts abstraits;
- Une possibilité d'offrir des expériences d'apprentissage authentiques.

## Cadre conceptuel

### L'expérience utilisateur

Dans l'objectif de décrire l'expérience enseignante et étudiante à la suite de l'expérimentation de la réalité virtuelle sous diverses modalités, nous nous sommes tournés vers un modèle théorique de l'expérience utilisateur.

Par opposition aux modèles classiques d'utilisabilité, les approches théoriques contemporaines de l'expérience utilisateur ne se limitent plus aux qualités instrumentales des produits et considèrent d'autres caractéristiques liées à l'apparence, l'esthétique, le plaisir, les émotions, etc. (Barcenilla et Bastien, 2009). Le modèle élaboré par Mahlke (2008) présenté à la figure 2 s'inspire de modèles issus de travaux antérieurs portant sur l'expérience utilisateur (Forlizzi et Ford, 2000; Hassenzahl et Tractinsky, 2006).



**Figure 2**  
Modèle de l'expérience utilisateur par Mahlke (2008). Adapté de Barcenilla et Bastien (2009)

Ce modèle comporte trois composantes qui déterminent l'expérience utilisateur et ses conséquences. Les qualités instrumentales font référence aux perceptions en lien avec l'utilité et la facilité d'apprentissage, en s'inspirant notamment de travaux passés sur l'utilisabilité (Kirakowski, 1996; Nielsen, 1994). Les qualités non instrumentales, qui présentent un intérêt particulier dans le cadre de ce projet, réfèrent aux aspects qui dépassent l'utilité, mais ont un impact sur l'expérience d'un individu, soit les aspects esthétiques (visuels, auditifs et haptiques), les aspects symboliques, qui interagissent avec les valeurs de l'utilisateur, ainsi que les aspects motivationnels, en lien avec la motivation et l'engagement qui seront décrits plus loin. La perception qu'a l'utilisateur de ces deux qualités détermine la troisième composante de son expérience, soit ses réactions émotionnelles (Scherer, 1984, 2001). Ces trois composantes détermineront à leur tour les réactions de l'utilisateur face à son expérience, notamment son jugement de l'outil technologique en question ainsi que son intention d'en continuer l'utilisation.

### **Les émotions ressenties avec la réalité virtuelle, un lien avec la motivation et l'engagement**

Il est possible d'établir un lien entre plusieurs éléments du modèle de Mahlke et des dimensions liées à l'engagement et à la motivation, qui comportent des dimensions affectives importantes. Certains travaux de recherche indiquent que la réalité virtuelle offre une expérience d'apprentissage favorisant la génération d'émotions positives (telles que l'intérêt, l'amusement, la surprise et l'exaltation) (Allcoat *et al.*, 2021; Allcoat et Mühlénen, 2018; Ślósarz *et al.*, 2022). La dimension émotionnelle ne peut, par ailleurs, être dissociée de la dimension cognitive dans l'expérience d'apprentissage en réalité virtuelle (Vesisenaho *et al.*, 2019). Makransky et Lilleholt (2018) proposent un modèle avec deux voies expliquant comment l'immersion dans la réalité virtuelle a un impact sur les résultats d'apprentissage perçus : la voie affective et la voie cognitive. Dans la voie affective, l'immersion accrue dans la simulation de réalité virtuelle conduit à un plus grand sentiment de présence, ce qui rend l'expérience plus amusante et plus motivante et se traduit par des résultats d'apprentissage perçus plus élevés.

L'approche sociocognitive de la motivation de Bandura (1986), qui accorde une place centrale au sentiment d'efficacité personnelle, est fréquemment utilisée pour l'étude de la motivation et de l'engagement scolaire (Molinari *et al.*, 2016). Les travaux de Bandura ont engendré différentes théories motivationnelles, qui postulent une interaction entre les caractéristiques de l'environnement d'apprentissage de la personne apprenante et ses comportements. Plus précisément, on y voit la motivation comme un phénomène à la fois cognitif et affectif, dynamique et changeant, relié aux perceptions, aux interprétations et aux anticipations d'une personne apprenante en lien avec son environnement (Pintrich, 2003).

Les théories dites des attentes et de la valeur (Eccles et Wigfield, 2002; Pintrich, 2003) distinguent les attentes de succès ou les anticipations (croyances de contrôle et sentiment d'efficacité personnelle), d'une part, et la valeur accordée à une tâche ou à une formation (importance, utilité, intérêt, type de buts), d'autre part. Le modèle de Pintrich (2003) intègre la valeur affective comme une composante spécifique dans son modèle, à laquelle il considère que l'on n'a pas suffisamment porté attention. Ces différentes composantes motivationnelles déterminent le degré d'engagement dans une activité ou une tâche.

Fredricks *et al.*, (2004) définissent trois types d'engagement : comportemental, cognitif et affectif. L'engagement comportemental est lié à la participation aux activités scolaires, sociales ou extrascolaires (Fredricks *et al.*, 2004) et aux comportements souhaités dans ces activités. L'engagement cognitif fait référence à l'investissement et aux efforts mentaux fournis pour la

compréhension de notions difficiles et l'acquisition de compétences complexes. Cet engagement dépend de la quantité de stratégies cognitives déployées, mais aussi de leur qualité. L'engagement affectif réfère, pour sa part, aux émotions (p. ex., l'intérêt, la joie, l'ennui, la tristesse ou l'anxiété) ressenties à l'égard de l'école, des enseignants et enseignantes, des pairs, du contenu à apprendre ou de l'apprentissage (Fredricks *et al.*, 2004; Molinari *et al.*, 2016).

## Objectif

L'objectif de cet article est de décrire l'expérience enseignante et étudiante quant à l'intégration dans des cours de sciences au postsecondaire de scénarios pédagogiques intégrant des simulations ou jeux sérieux en réalité virtuelle (non immersive et immersive) (Poellhuber *et al.*, 2024).

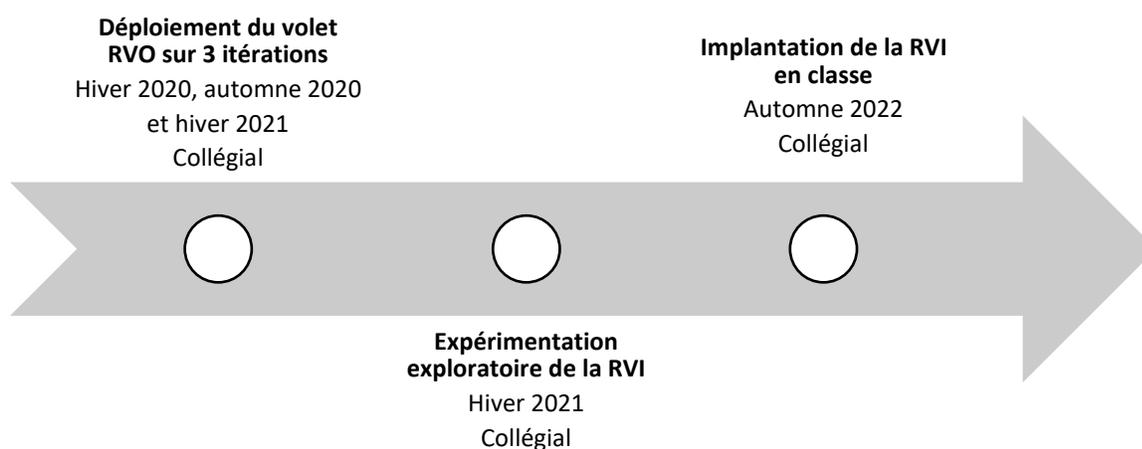
## Méthodologie

### Type de recherche

Les résultats présentés dans cet article s'intègrent dans une recherche plus vaste visant à explorer le potentiel pédagogique et didactique de scénarios intégrant des simulations en réalité virtuelle pour l'apprentissage des sciences au postsecondaire. L'étude s'inscrit dans le cadre d'une recherche-action-formation et d'une approche de recherche orientée par la conception (*design-based research*), reposant sur une méthodologie mixte.

### Étapes du projet

La figure 3 illustre les différentes phases de l'étude. Pour des raisons techniques en lien avec la pandémie de COVID-19 qui prévalait à ce moment, nous avons amorcé l'étude avec l'implantation de la RVO durant les trois premières itérations allant de l'automne 2020 à l'automne 2021 (Marquis *et al.*, 2022). Par la suite, le volet RVI a été déployé de façon exploratoire dans un premier temps, avec un nombre limité de personnes participantes, et déployé plus largement dans les classes dans un deuxième temps. Ces phases se sont réalisées dans différents établissements à divers moments. Les étudiants et étudiantes ne sont donc pas les mêmes d'une phase à l'autre.



**Figure 3**

*Calendrier du déploiement des différents volets de l'étude*

## Personnes participantes et outils de collecte

### Déploiement du volet réalité virtuelle sur ordinateur (RVO)

Huit entrevues de groupe disciplinaires, réunissant en moyenne 3 personnes enseignantes, ont été réalisées auprès de 29 enseignantes et enseignants issus de 6 établissements d'enseignement collégial après que ceux-ci aient expérimenté individuellement une simulation Labster. Ces simulations de RVO se présentent comme des missions au cours desquelles les étudiants et étudiantes auront à effectuer certains choix et certaines analyses. Elles sont très contextualisées et comportent des éléments tirés de l'univers des jeux. Elles ont été implantées dans des cours de sciences (biologie, chimie et physique) de programmes réguliers collégiaux en étant intégrées dans des scénarios pédagogiques élaborés par le personnel enseignant avec l'aide d'une conseillère ou un conseiller pédagogique et des membres de l'équipe de recherche. Des questionnaires ont ensuite été remplis par 1 461 de leurs étudiantes et étudiants après que ceux-ci aient expérimenté un scénario pédagogique intégrant une simulation en RVO. Un total de 26 étudiantes et étudiants ont participé à des entrevues de groupe, avec 2 ou 3 étudiants et étudiantes en moyenne par entrevue rassemblés parce qu'ils provenaient du même groupe-classe.

### Déploiement du volet réalité virtuelle immersive (RVI)

**Première expérimentation exploratoire de la RVI.** Pour la RVI (avec casque de réalité virtuelle), nous avons fait une première expérimentation avec 7 enseignants et enseignantes et 6 étudiants et étudiantes donnant ou suivant des cours de chimie ou de biologie au cégep. Ceux-ci ont été invités à expérimenter l'application Sharecare YOU Anatomy VR ou l'application Abelana's Atom Maker dans un casque de réalité virtuelle de type Oculus Rift en dehors des cours dans un local aménagé avec les équipements. Ces applications ont été choisies en raison de leur pertinence pédagogique potentielle pour les cours de chimie et de biologie au collégial. Une entrevue individuelle semi-dirigée a, par la suite, été réalisée avec ces personnes participantes.

**Implantation en classe d'un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI.** La RVI a ensuite été implantée à grande échelle auprès de 6 enseignants et enseignantes et 220 étudiants et étudiantes dans des cours de biologie et de chimie du programme *Sciences de la nature* au cégep de Saint-Jérôme. Un total de 220 étudiants et étudiantes ont expérimenté un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI (à l'aide d'un casque de réalité virtuelle Meta Quest 2) et 69 d'entre eux ont répondu au questionnaire. Deux entrevues de groupe disciplinaires ont été réalisées avec les 6 enseignantes et enseignants participants et deux autres entrevues du même type ont été réalisées avec 14 étudiants et étudiantes. Il faut mentionner que les jeux sérieux expérimentés étaient des prototypes du produit que nous désirions élaborer dans le cadre d'un projet financé par le programme NovaScience du ministère de l'Économie et de l'Innovation (Marquis *et al.*, 2023). La première séance, en biologie, a été expérimentée en octobre 2022. Le prototype n'était pas parfaitement au point et les étudiants et étudiantes ont éprouvé plusieurs problèmes techniques. Nous n'avons pas non plus anticipé l'ampleur des exigences logistiques liées à un essai d'une telle envergure et des besoins de soutien. Lors de la deuxième expérimentation en chimie, cinq semaines plus tard, toute une équipe d'accompagnement était présente et l'expérimentation du jeu de biologie nous a aussi permis de régler plusieurs problèmes techniques en chimie.

### Questionnaires

L'échelle d'engagement affectif comporte 6 items modifiés et adaptés de Skinner *et al.* (2009) pour le contexte de l'enseignement avec la réalité virtuelle. Son coefficient alpha de fidélité est de

0,852. Du côté de la valeur, l'équipe a élaboré des échelles comparatives fondées sur la composante valeur du modèle de Pintrich (2003). Les échelles comparatives utilitaires et affectives visaient à juger de l'utilité ainsi que de la dimension affective perçue lors des activités en réalité virtuelle en comparaison avec les activités habituelles se déroulant en classe. Les analyses factorielles exploratoires ont abouti à deux facteurs. L'échelle comparative utilitaire comprenait 3 items ( $\alpha = 0,822$ ) et l'échelle comparative affective en comprenait 6 ( $\alpha = 0,947$ ).

Le tableau 1 synthétise les caractéristiques des trois déploiements de l'étude.

**Tableau 1**

*Détails du déploiement et de la collecte des différents volets de l'étude*

Déploiements	Déploiement du volet RVO sur 3 itérations	Expérimentation exploratoire de la RVI	Implantation de la RVI en classe
Milieu	Collégial et universitaire	Collégial	Collégial
Contexte	En classe	Hors classe, à petite échelle	En classe
Participant(e)s et outils de collecte	Enseignant(e)s	Enseignant(e)s	Enseignant(e)s
	Entrevues de groupe disciplinaires semi-dirigées ( $n = 29$ )	Entrevue semi-dirigée ( $n = 7$ )	Entrevue de groupe semi-dirigée ( $n = 6$ )
	Étudiant(e)s	Étudiant(e)s	Étudiant(e)s
	Questionnaire ( $n = 1\ 461$ )	Entrevue semi-dirigée ( $n = 6$ )	Entrevue semi-dirigée ( $n = 14$ ) Questionnaire ( $n = 69$ )

## Analyse des données

Des statistiques descriptives ont été effectuées sur les données des échelles comparatives utilitaires et affectives et de l'échelle d'engagement affectif.

### *Analyse des données qualitatives issues des entrevues*

Une analyse de contenu a été effectuée sur les données qualitatives issues des diverses entrevues selon la démarche de Miles et Huberman (1994/2003). Pour chacun des types d'entrevues, l'analyse a débuté par une phase de condensation des données où, après transcription des verbatims, une grille de codification a été élaborée par deux codeurs de façon consensuelle. Un contre-codage a été effectué sur 30 % du corpus avec un accord interjuge égal ou supérieur à 75 %. La codification a été effectuée à l'aide du logiciel QDA Miner. Ensuite, une deuxième étape de présentation des données a suivi avec l'élaboration de nuages de mots (figures 4, 5, 8, 9, 10 et 12) en faisant plusieurs requêtes avec le logiciel QDA Miner. Ceux-ci représentent les thèmes utilisés lors du codage du corpus. Les thèmes y apparaissent avec une taille proportionnelle au nombre de personnes les ayant abordés. Enfin, l'interprétation des résultats a ensuite été réalisée par l'élaboration et la vérification de conclusions.

### *Analyse lexicale des réponses aux questions ouvertes du questionnaire*

Pour l'analyse des réponses aux questions ouvertes, nous avons déployé une analyse lexicologique effectuée avec le logiciel IRaMuTeQ (Gephart, 1993). Celle-ci, se fonde sur la méthode de Reinert (1990), qui consiste en une analyse de classification de données textuelles mettant en évidence les principales classes thématiques d'un corpus donné. Cette technique d'analyse hiérarchique descendante débute par un « découpage un peu arbitraire en unités de contexte » en visant « à retenir le plus grand ensemble possible de mots, quitte à effectuer certaines transformations sur les

formes brutes relevées, en supprimant par exemple les désinences de conjugaison, les marques de pluriel, certains suffixes, classe les énoncés en groupes homogènes et distincts, en mettant en évidence les relations contextuelles des mots dans un corpus de textes » (p. 22). Plus précisément, après une préparation adéquate du corpus, le logiciel procède à une lemmatisation qui vise à regrouper tous les mots d'une même famille (noms avec verbes ou adjectifs, par exemple enseignants avec enseigner et enseignante) en un même lemme. Puis, le logiciel analyse la corrélation entre ces mots à l'intérieur des unités de contexte élémentaires (UCE) d'environ 10 à 15 mots, qui ont des caractéristiques semblables à celles d'une phrase. Un processus d'analyse de classification hiérarchique descendante suit. Pour ce, le logiciel crée des classes en fonction des UCE les plus semblables en cherchant la plus grande proximité entre les classes et la plus grande distance interclasses (Roy et Garon, 2013). Ainsi, le travail du logiciel est fondé sur l'analyse des similitudes et des différences (Mohr, 1998), qui peuvent être paramétrées de différentes façons. L'analyse de similitude offre différentes représentations visuelles des termes et classes, qui peuvent être recontextualisées en fonction des extraits originaux, et ensuite être soumises à l'interprétation. Une première représentation est celle d'un nuage de mots-clés, qui représente essentiellement la fréquence des termes dans le corpus (figures 6 et 11). Dans la deuxième représentation (figures 7 et 13), l'indice de cooccurrence a été calculé selon l'algorithme Fruchterman-Reingold de dessin basé sur les forces (*force-directed algorithms*), ce qui permet de mettre en évidence la proximité, ou le positionnement, des mots dans les UCE. La taille des cercles est proportionnelle à la fréquence des termes, et la couleur regroupe les communautés de termes.

## Résultats

Les résultats présentés dans cette section portent sur l'expérience vécue par les enseignants et enseignantes et par les étudiants et étudiantes après avoir expérimenté la réalité virtuelle selon l'un des différents volets de l'étude.

### L'expérience vécue par les enseignants et enseignantes et par les étudiants et étudiantes avec la RVO

Dans cette section, nous présenterons les résultats décrivant l'expérimentation d'une simulation en RVO par les enseignantes et enseignants participants ainsi que les résultats de l'expérience des étudiantes et étudiants après que ceux-ci aient vécu un scénario pédagogique intégrant ce type de simulation.

#### *L'expérience vécue par les enseignants et enseignantes lors de l'expérimentation d'une simulation en RVO*

La figure 4 illustre les thèmes abordés par les enseignants et enseignantes de biologie, chimie et physique (pour les trois itérations) alors que nous leur avons demandé, en entrevue, de décrire de façon très ouverte leur expérience lors de l'expérimentation d'une simulation en RVO destinée à être utilisée dans le cadre d'un de leurs cours.

L'analyse des propos recueillis lors des entrevues portant sur l'exploration de l'outil faite par les enseignants et enseignantes montre que le thème **avantages pédagogiques observés** est celui qui a été abordé par le plus grand nombre d'entre eux lorsqu'ils devaient décrire leur expérience d'exploration. L'extrait suivant illustre les propos d'une enseignante.

Au début j'étais vraiment impressionnée, en tout cas au niveau pédagogique...  
Qu'on aborde tel concept, puis là ça nous l'explique, puis il y a une petite image,  
puis il y a une question qui vient avec. Il faut que les étudiants répondent à la

question, puis là après, moi j'ai le résultat dans le *dashboard*. Au plan pédagogique, je trouvais ça hyper complet, surtout que nous on était en mode un peu « mais qu'est-ce qu'on va faire, la pandémie nous tombe sur le dos ». Puis là, on nous donne cet outil-là où je peux faire un suivi pédagogique de ce qui se passe. C'était vraiment cool. (Julie, biologie)



**Figure 4**

Thèmes décrivant l'expérience vécue par les enseignants et enseignantes lors de l'expérimentation d'une simulation en RVO ( $n = 29$ ). Dans les nuages de mots présentés tout au long de l'article, la taille des caractères est proportionnelle au nombre de personnes ayant abordé le thème

L'aspect **ludique** ressort ensuite comme un élément de l'expérience vécue par plusieurs enseignants et enseignantes. Des éléments en lien avec la **navigation** sont aussi ressortis.

Le thème **réaction émotionnelle +**, ressorti chez quelques enseignants et enseignantes (4), regroupait des mots-clés tels qu'impressionnant, excitation, curiosité et wow! super!

Des aspects moins positifs sont aussi ressortis de l'expérience enseignante tels que des difficultés avec la navigation dans la simulation (navigation -), l'observation de lacunes pédagogiques dans la simulation ainsi que des problèmes techniques.

### **Expérience vécue par les étudiants et étudiantes lors de l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant une simulation en RVO**

La figure 5 illustre les thèmes abordés par les étudiants et étudiantes en biologie, chimie et physique alors que nous leur avons demandé, en entrevue, de décrire de façon très ouverte leur expérience lors de l'usage d'une simulation en RVO intégrée, en classe, dans un scénario pédagogique élaboré par leur enseignant ou enseignante.



**Figure 5**

Thèmes décrivant l'expérience vécue par les étudiants et étudiantes lors de l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant une simulation en RVO ( $n = 26$ )

L'analyse montre que les thèmes **plaisant/fun, engageant/motivant +, ludique**, très en lien avec des éléments affectifs, et le thème **nouveauté** ressortent des propos recueillis lors des entrevues portant sur l'expérimentation d'un scénario pédagogique élaboré par les enseignants et enseignantes incluant une simulation Labster. Le thème **aide à l'apprentissage** a aussi été beaucoup abordé par les étudiants et étudiantes, quoique dans une moindre mesure que les thèmes précédents.

Les extraits suivants illustrent des propos codés respectivement dans les thèmes plaisant et engageant/motivant.

On n'a comme pas l'impression en tant que telle d'apprendre, on a l'impression dans un certain sens de jouer à un petit jeu, puis en même temps on révise. Moi, j'ai trouvé ça plaisant pour ça. (étudiant de Maxime, chimie)

Vu que c'est plus plaisant, c'est aussi plus motivant et tu te forces un peu plus en même temps. Puis c'est quelque chose qui sort de l'ordinaire. C'est quelque chose que tu dis : ben, ça arrive juste une fois. Tant qu'à le faire, je vais bien le faire. (étudiant de Justine, biologie)

L'extrait suivant illustre des propos du thème aide à l'apprentissage.

C'est vraiment cool parce qu'admettons qu'il y a des concepts que, sur papier, tu ne comprends pas bien, ça te permet de mettre des images là-dessus. Admettons, quand tu fais ton examen, tu vas essayer de penser à quoi ça fait référence ce concept-là. Là, tu peux avoir l'image du jeu justement dans ta tête : ah oui, c'est vrai. J'ai déjà fait ça. (étudiant de Maxime, chimie)

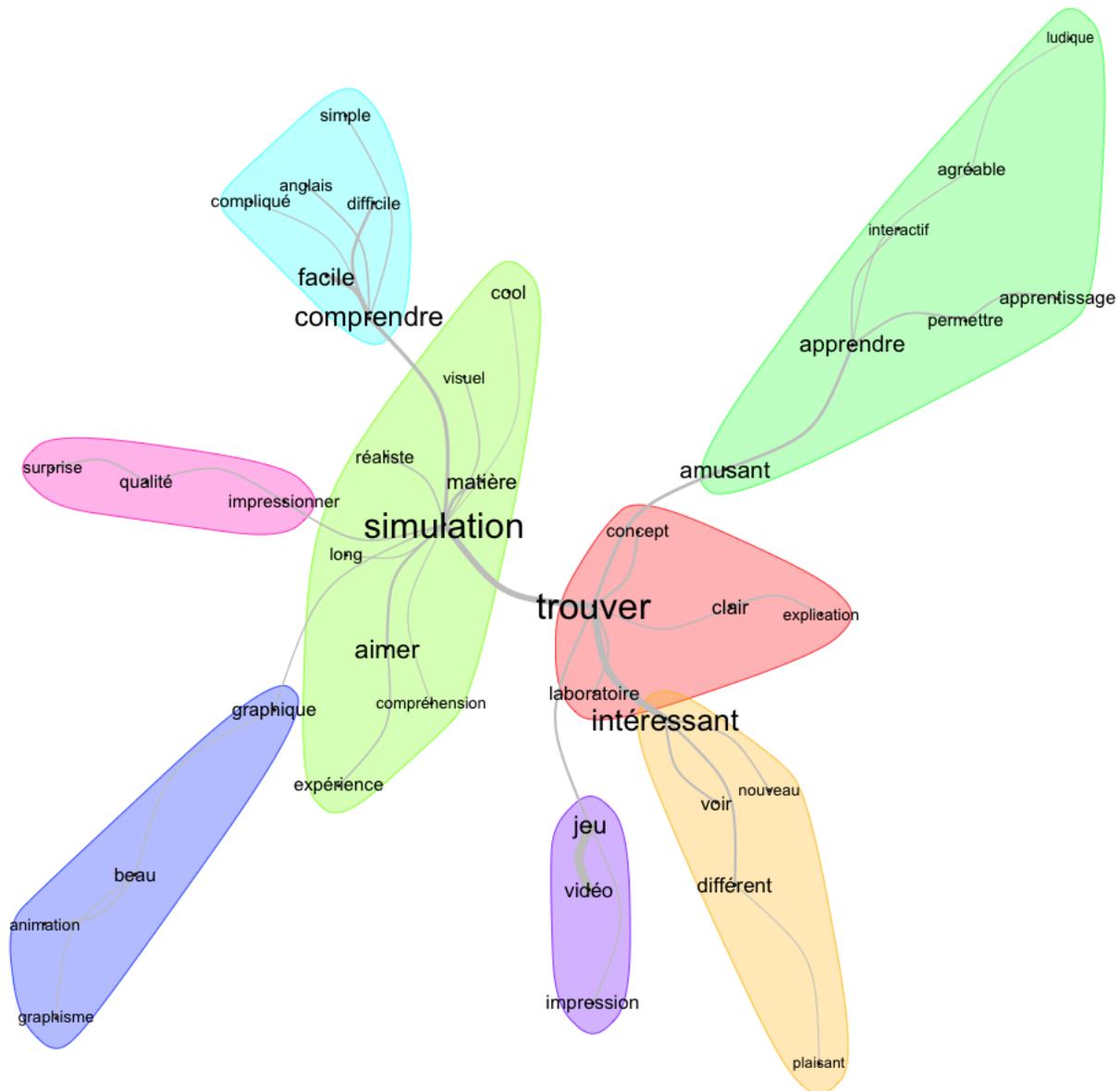
La figure 6 présente le nuage de mots généré par IRaMuTeQ avec les réponses d'une question ouverte du questionnaire demandant à un grand nombre d'étudiants et étudiantes de rapporter leurs premières impressions avec la RVO. Les mots les plus fréquemment utilisés réfèrent à des dimensions qui sont en lien avec l'apprentissage : comprendre et apprendre. D'autres mots fréquemment employés font largement appel à des réactions affectives positives : aimer, jeu, amusant, intéressant, agréable.



**Figure 6**

*Termes utilisés pour décrire les premières impressions des étudiants et étudiantes après l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant une simulation en RVO (n = 1 244)*

La figure 7 illustre une visualisation fondée sur une analyse de similitude des termes générée par IRaMuTeQ pour la même question ouverte du questionnaire.



**Figure 7**

*Analyse de similitude décrivant les premières impressions des étudiants et étudiantes après l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant une simulation en RVO (n = 1 244)*

Alors que les nœuds de gauche semblent associés aux graphiques, à la qualité ainsi qu'à la facilité d'utilisation, les nœuds de droite semblent davantage liés à l'apprentissage ainsi qu'aux aspects affectifs. On remarque, en effet, que plusieurs des nœuds illustrés renferment des termes associés à ces derniers tels qu'aimer, différent, plaisant, amusant, agréable et ludique. Cette figure illustre que le terme comprendre (très fréquent selon le nuage de mots plus haut) semble être lié à des commentaires sur la facilité d'utilisation (halo bleu), alors que le halo vert à droite réunit des termes liés à l'apprentissage et aux émotions (amusant, agréable et ludique).

Le tableau 2 présente des statistiques descriptives des échelles liées aux aspects affectifs issues de l'analyse des questionnaires distribués aux étudiants et étudiantes.

**Tableau 2**

*Résultats des questionnaires distribués aux étudiants et étudiantes après l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant une simulation en RVO*

Échelle	N	Min	Max	Moyenne	Écart type
Engagement affectif	1 228	1	7	5,23	1,230
Échelle comparative – Valeur affective	1 248	1	5	3,84	0,829
Échelle comparative – Valeur utilitaire	1 248	1	5	3,54	0,830

L'engagement affectif ainsi que la valeur affective (la dimension affective perçue lors des activités en réalité virtuelle en comparaison avec les activités habituelles se déroulant en classe) sont des échelles ayant obtenu des moyennes élevées, ce qui est cohérent avec les données issues de l'analyse qualitative.

### L'expérience vécue par les enseignants et enseignantes et par les étudiants et étudiantes lors d'une première expérimentation exploratoire de la RVI

Dans cette section, nous présenterons les résultats décrivant l'expérimentation exploratoire d'une simulation en RVI par un petit échantillon d'enseignantes et enseignants ainsi que d'étudiantes et étudiants participants.

#### *Expérience vécue par les enseignants et enseignantes lors d'une expérimentation exploratoire avec la RVI*

La figure 8 illustre les thèmes ressortis après que nous avons demandé aux enseignants et enseignantes, en entrevue, de nous décrire leur expérience immédiatement après avoir expérimenté de façon exploratoire une application en RVI.



**Figure 8**

*Thèmes décrivant l'expérience vécue par les enseignants et enseignantes lors de l'exploration d'une application en RVI (n = 7)*

Des commentaires positifs sur les représentations présentes pour illustrer des éléments de contenu dans l'application (**représentations +**) ressortent de l'expérience de tous les enseignants et enseignantes, comme l'illustre l'extrait suivant.

De voir des cavités à l'intérieur de l'encéphale, tu ne peux pas faire ça avec une feuille de papier, tu ne le vois pas. Ça là, ça aide vraiment, puis c'est important en biologie d'être capable de comprendre l'interrelation des structures par rapport aux autres. C'est une grosse force [...] Tu sais, il n'y [a] pas un livre de biologie qui peut « accoter » ça. Pour la compréhension des structures comme ça. (Félix, biologie)

L'**immersion et la présence** ainsi que les **aspects visuels** sont les autres thèmes qui ont été abordés par le plus grand nombre d'enseignantes et enseignants. Ceux-ci ont apprécié la beauté de l'environnement virtuel ainsi que l'aspect 3D des différents objets présents. Ils avaient tendance à commenter de façon positive les formes de représentation des contenus trouvées dans l'application. Ils ont enfin fait des commentaires positifs et négatifs relativement au confort (le casque utilisé était relié à un fil, vision, chaleur).

Les **aspects motivationnels** ont aussi été abordés par 3 enseignants et enseignantes qui percevaient que l'application expérimentée avait la capacité d'être stimulante et qu'ils pouvaient ainsi motiver leurs étudiants et étudiantes à s'y engager.

En ce qui concerne les émotions ressenties, le **plaisir** a été mentionné par 3 enseignants et enseignantes qui ont qualifié leur expérience de « l'fun », trippante et agréable. La surprise et le côté relaxant ont été chacun abordés par un enseignant ou une enseignante. L'ennui a aussi été mentionné par un enseignant, qui aurait souhaité que les possibilités offertes par la réalité virtuelle soient mieux exploitées dans l'application qu'il avait expérimentée.

Certains enseignants et enseignantes ont, pour leur part, apporté des critiques aux formes de représentation des contenus retrouvées dans les applications.

### **Expérience vécue par les étudiants et étudiantes lors d'une expérimentation exploratoire avec la RVI**

La figure 9 illustre les thèmes ressortis après que nous avons demandé aux étudiants et étudiantes, en entrevue, de nous décrire leur expérience immédiatement après avoir exploré une application en RVI (Sharecare YOU VR ou Abelana's Atom Maker) dans un casque Oculus Rift.



**Figure 9**

*Thèmes décrivant l'expérience vécue par les étudiants et étudiantes lors de l'exploration d'une application en RVI (n = 6)*

Les thèmes ressortis par le plus grand nombre d'étudiants et étudiantes touchent l'**aspect plaisant** de l'expérience, les **aspects visuels** de l'application ainsi que les thèmes **compréhension** et **visualisation**. Bien que l'aspect affectif ressorte des propos des étudiantes et étudiants, ceux-ci

expliquent aussi que leur expérience a été marquée par la perception d'avantages pour l'apprentissage, pour la visualisation et la compréhension, notamment.

En ce qui a trait aux émotions ressenties, alors que le thème **plaisant** a été abordé par presque tous les étudiants et étudiantes, les thèmes **relaxant**, **surprise**, **ennui** et **peur** ont, pour leur part, été abordés respectivement par une personne participante. Le thème plaisant, illustré par l'extrait plus bas, regroupe des propos où l'expérience fut qualifiée de « l'fun », d'agréable ou d'excitante.

Amusant, c'était le fun, c'était vraiment « nice », moi, j'adore ça, tu sais [...] C'est amusant comme façon d'enseigner. (Mélissa, biologie)

Le fait de se retrouver en immersion dans le monde virtuel a créé un effet de surprise ou a généré un état de relaxation. L'ennui a été mentionné en lien avec la longueur de l'expérimentation alors que la peur a été ressentie par une étudiante à cause de l'immersion dans un estomac.

### L'expérience vécue par les enseignants et enseignantes et par les étudiants et étudiantes lors de l'implantation en classe d'un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI

Dans cette section, nous présenterons les résultats de l'expérience enseignante et étudiante après l'implantation en classe d'un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI.

#### Expérience vécue par les enseignants et enseignantes lors de l'implantation de la RVI en classe

La figure 10 illustre les impressions générales des enseignantes et enseignants, recueillies de façon très ouverte lors d'entrevues, après que ceux-ci aient implanté un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI dans leur classe.



Figure 10

Thèmes décrivant l'expérience vécue par les enseignants et enseignantes de biologie et de chimie après l'implantation d'un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI (n = 6)

Le thème **méthode différente**, abordé par 5 des 6 enseignants et enseignantes, fait référence au fait que le jeu en RVI a représenté une manière nouvelle d'amener la matière en comparaison avec les méthodes d'enseignement habituelles, ce qu'ils ont apprécié et qui semble avoir été apprécié des étudiants et étudiantes. L'extrait suivant illustre ce thème.

J'ai trouvé ça bien autant pour moi que pour les élèves là. Ça, ça permet de faire quelque chose de différent pour, pour de la matière que c'est difficile d'innover là. Je pense que ça, c'est très bien, très très bien. (Pablo, biologie)

Les thèmes **motivation**, **questionne l'impact** et **bogues techniques** ont ensuite été abordés par le plus d'enseignants et enseignantes.

Le thème **motivation** regroupe plusieurs extraits où les enseignants et enseignantes décrivent que l'expérience en RVI a motivé les étudiants et étudiantes selon eux, comme on peut le lire dans les quelques extraits suivants.

J'étais content de voir l'enthousiasme des étudiants [...] Tu sais, tu voyais qu'il y avait une étincelle, il y avait de la motivation et moi j'ai trouvé ça le fun. (Bénédicte, biologie)

On va se le dire, pour la synthèse des protéines, c'est rare qu'on voit des élèves sourire et avoir du fun en faisant des exercices. Puis là, ils avaient l'air contents, d'avoir du fun. C'est le point de vue motivation scolaire. Et comment je dirais, avoir le goût d'être là et d'avoir du fun, ça, c'est un plus que j'ai rarement vu sur un exercice de synthèse des protéines. (Pablo, biologie)

Toutefois, bien que les enseignants et enseignantes aient observé des effets positifs sur le plan de la motivation, ils ne peuvent pas en dire autant pour ce qui est des apprentissages réalisés. Cela se reflète dans les propos codifiés dans le thème **questionne l'impact** abordé par 4 des 6 enseignants et enseignantes. Comme en témoigne l'extrait suivant, ceux-ci ne sont pas en mesure d'affirmer avec certitude que le jeu a pu avoir des impacts positifs sur les apprentissages.

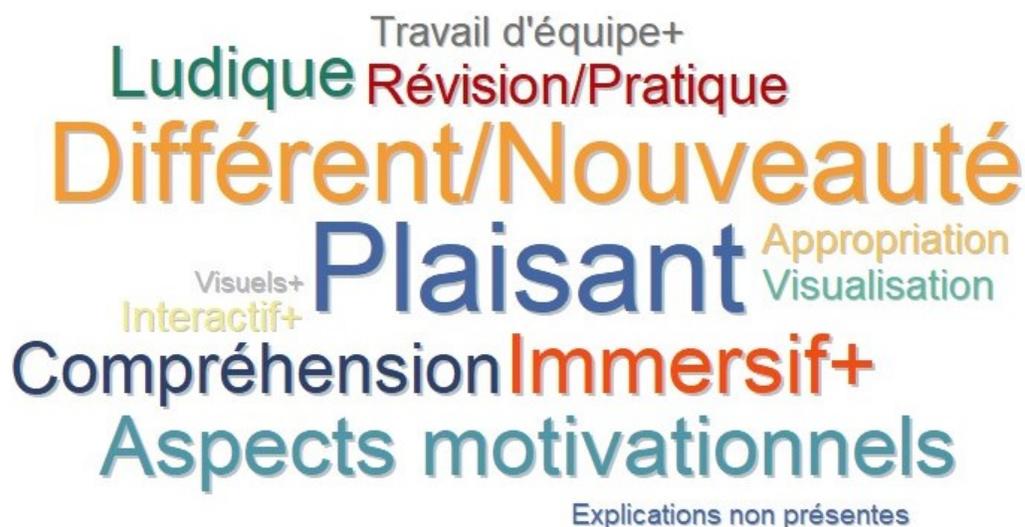
C'est difficile de savoir à quel point, comment je dirais, les apprentissages qu'ils ont fait durant cette activité-là [ont] été reporté[s] à l'évaluation sommative. Ça, je saurais pas comment dire ou comment l'évaluer. (Pablo, biologie)

Enfin, le thème **bogues techniques** a été abordé par les 4 enseignants et enseignantes de biologie. Comme mentionné plus tôt, cela s'explique par le fait que les jeux sérieux étaient des prototypes. L'implantation en classe du jeu de biologie a d'ailleurs permis de corriger plusieurs problèmes afin d'éviter qu'ils se reproduisent ensuite lors de l'implantation du jeu en chimie.

Pour ce qui est des émotions ressenties, certains enseignants et enseignantes ont mentionné la **fébrilité** et le **stress**. Ils étaient excités de déployer une telle technologie dans leur cours, mais son appropriation par les étudiants et étudiantes et les problèmes techniques vécus ont été une source de stress.

### ***Expérience vécue par les étudiants et étudiantes lors de l'implantation de la technologie en classe***

La figure 11 illustre les thèmes décrivant l'expérience vécue par les étudiants et étudiantes décrite ouvertement lors des entrevues, après que leur enseignant ou enseignante ait implanté un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI en classe.



**Figure 11**

*Thèmes décrivant l'expérience vécue par les étudiants et étudiantes après avoir expérimenté le scénario pédagogique, intégrant un jeu sérieux en RVI, élaboré par leur enseignant ou enseignante (n = 14)*

Le thème **plaisant** a été abordé par 9 des 14 étudiants et étudiantes participant aux entrevues de groupe. Les expressions le fun, cool, amusant ont été utilisées à plusieurs reprises pour expliquer qu'ils ont trouvé l'expérience plaisante.

Ça m'a comme rendu un peu plus heureux aussi d'aller en bio parce que tu sais, un lundi matin, la réalité virtuelle c'est un peu plus le fun que s'asseoir puis de prendre des notes. (étudiant 2, biologie)

C'est cool parce que tu le comprends, tu apprends, t'as du fun et quand t'as du fun, quand t'apprends quelque chose, c'est comme ça « cale » vite dans ta tête parce que tu le fais... Tu le fais pas comme genre, t'es stressé il faut que tu comprennes, mais tu le fais en jouant. (étudiant 7, chimie)

Le thème **différent/nouveauté** est celui qui a ensuite été abordé par le plus grand nombre d'étudiants et étudiantes. Tout comme cela a été le cas du côté enseignant, les étudiants et étudiantes ont apprécié cette manière différente d'apprendre la matière, en comparaison avec les méthodes habituelles.

Les thèmes **immersifs** et **aspects motivationnels** ont été abordés par plus du tiers des étudiantes et étudiants. Du côté immersif, ceux-ci ont mentionné s'être sentis présents et focalisés dans le jeu. Ils ont évoqué plusieurs raisons pour expliquer les avantages motivationnels du jeu en RVI. Parmi celles-ci, on retrouve le fait que ce soit une méthode d'enseignement différente, que l'immersion les incite à rester concentrés, que le design du jeu en équipe soit excitant et l'envie de progresser dans les jeux.

Enfin, les étudiantes et étudiants soulignent l'aspect **ludique** des jeux qu'ils ont perçus comme amusants et comment ceux-ci ont été bénéfiques pour la **compréhension** (et la **visualisation**).

Le nuage de mots généré par IRaMuTeQ avec les réponses d'un plus grand nombre d'étudiants et étudiantes à une question ouverte du questionnaire portant sur les premières impressions avec la RVI est présenté à la figure 12.



**Figure 12**

*Termes utilisés pour décrire les premières impressions des étudiants et étudiantes après l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI (n = 89)*

Les mots les plus fréquemment utilisés réfèrent dans ce cas à des dimensions affectives : aimer, amusant, intéressant, impressionnant et cool. On y retrouve tout de même, dans une moindre mesure, les termes comprendre et apprendre.

La figure 13 illustre une visualisation fondée sur une analyse de similitude des termes générée par IRaMuTeQ pour la même question ouverte du questionnaire. L'ensemble de termes liés au terme aimer est lié à l'ensemble jeu. L'ensemble intéressant est lié à impressionnant et le terme cool demeure isolé.

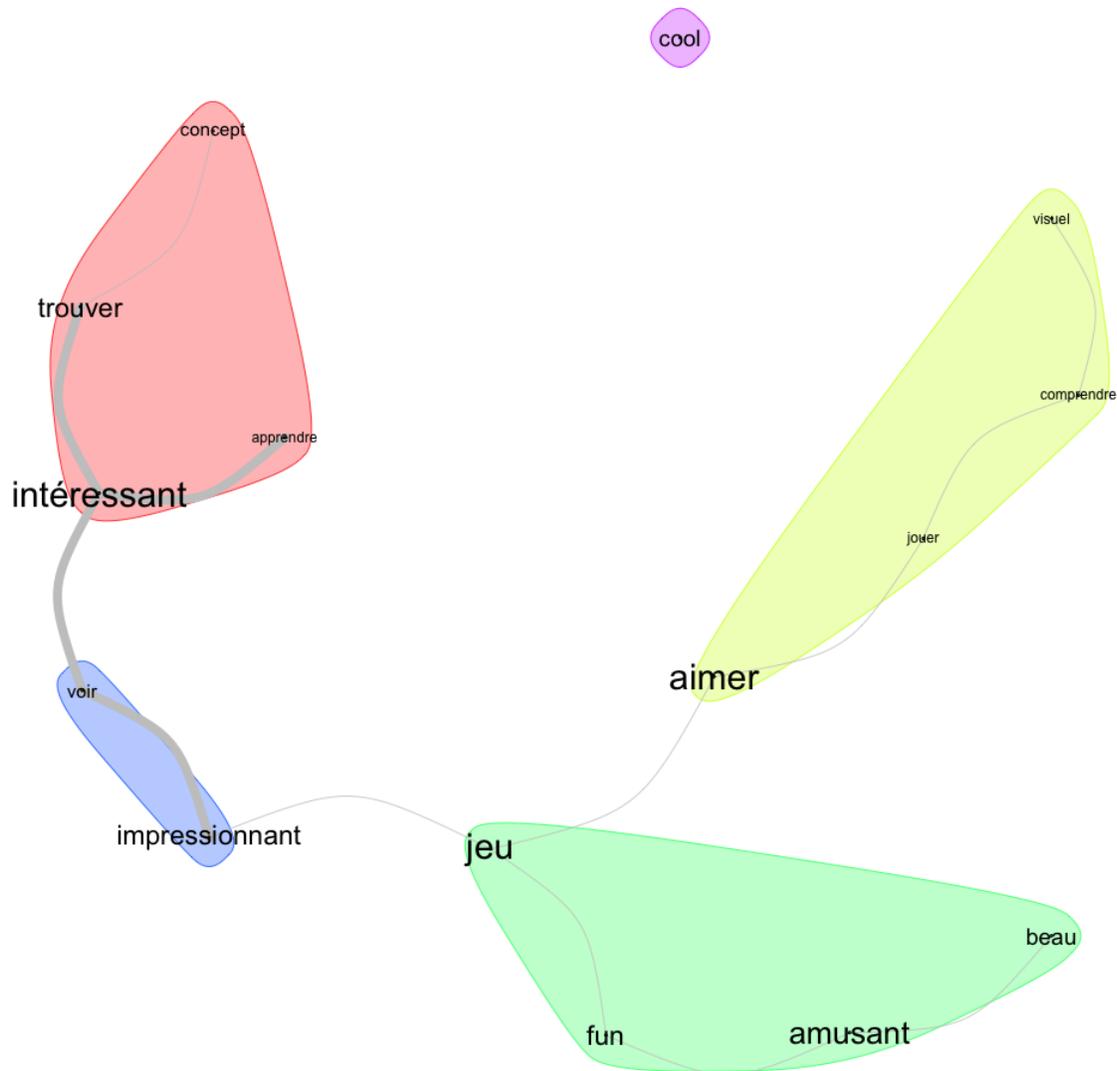
Le tableau 3 présente des statistiques descriptives des échelles liées aux aspects affectifs issues de l'analyse des questionnaires distribués aux étudiants et étudiantes.

**Tableau 3**

*Résultats des questionnaires distribués aux étudiants et étudiantes après l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant un jeu sérieux en RVI*

Échelle	N	Min	Max	Moyenne	Écart type
Engagement affectif	67	1	7	5,94	0,878
Échelle comparative – Valeur affective	69	1	5	4,36	0,535
Échelle comparative – Valeur utilitaire	69	1	5	3,68	0,894

Comme observé lors du déploiement de la RVO, l'engagement affectif et la valeur affective comparative (la dimension affective perçue lors des activités en réalité virtuelle en comparaison avec les activités habituelles se déroulant en classe) sont des échelles ayant obtenu des moyennes élevées, ce qui est aussi cohérent avec les données issues de l'analyse qualitative.



**Figure 13**

*Analyse de similitude décrivant les premières impressions des étudiants et étudiantes après l'expérimentation d'un scénario pédagogique intégrant une simulation en RVI (n = 89)*

## Discussion

Les données issues aussi bien des analyses qualitatives que des analyses quantitatives convergent de manière importante et nous amènent à quatre résultats centraux.

### **1. Les aspects affectifs et émotionnels sont ceux qui ressortent le plus de la première expérience étudiante avec la RVO et la RVI. Des émotions positives sont ressenties lors de cette première expérience de la réalité virtuelle.**

Les données recueillies auprès des étudiants et étudiantes (par des entrevues, avec l'analyse lexicale effectuée sur une question ouverte du questionnaire et les statistiques descriptives de certaines échelles du questionnaire) convergent toutes vers ce même résultat.

La réalité virtuelle, par ses différentes caractéristiques, a le potentiel de générer des émotions positives chez les étudiants et étudiantes qui auront comme effet de susciter la motivation et l'engagement.

Les propos des étudiantes et étudiants issus des entrevues et de la question ouverte du questionnaire nous indiquent que ceux-ci ressentent des émotions telles que le plaisir et l'amusement et que cela a des impacts positifs sur leur motivation et leur engagement. Les résultats de l'échelle affective comparative du questionnaire montrent qu'ils ressentent davantage d'émotions positives durant les activités en réalité virtuelle que durant les activités d'apprentissage habituelles. Ces résultats sont en adéquation avec ceux d'Allcoat et Mühlénen (2018), d'Allcoat *et al.*, (2021) et de Ślószarz *et al.* (2022) suggérant que la réalité virtuelle vient augmenter les émotions positives ressenties et l'engagement, ce qui a un effet positif sur l'expérience d'apprentissage.

Nos résultats montrent la grande importance des réactions émotionnelles dans l'expérience d'utilisation de ce nouvel outil technologique, ce qui va dans le même sens que les modèles d'expérience utilisateur qui ont ajouté les réactions émotionnelles aux dimensions d'utilité et d'utilisabilité (Barcenilla et Bastien, 2009; Mahlke, 2008), et ce, dans le contexte particulier de l'étude, soit le contexte scolaire.

On peut ainsi penser que ces émotions positives générées avec la réalité virtuelle auront plusieurs effets positifs sur les apprentissages des étudiants et étudiantes. Selon Makransky et Petersen (2021), le fait de se sentir très présent dans un environnement virtuel réaliste peut constituer une expérience nouvelle et intense, qui permet de susciter l'intérêt, ce qui se reflète dans les résultats d'apprentissage. Cela s'avère un résultat important dans le contexte où une baisse d'intérêt pour la science est observée chez les étudiants et étudiantes au fur et à mesure qu'ils progressent dans leur cheminement scolaire (Christidou, 2011; Potvin et Hasni, 2014b, 2014a).

Les données recueillies auprès des enseignantes et enseignants (par des entrevues) montrent que ceux-ci ont ressenti des émotions positives en expérimentant la technologie, mais dans une moins grande mesure. Elles montrent aussi que, du point de vue enseignant, la réalité virtuelle peut avoir un effet positif sur la motivation des étudiants et étudiantes.

Bien que la place des émotions positives ressenties soit centrale dans l'expérience vécue avec la réalité virtuelle selon les trois modalités expérimentées (RVO, exploration en RVI et implantation de la RVI dans la classe), d'autres aspects liés à l'utilité sont aussi ressortis, ce qui nous amène au deuxième résultat central de l'article.

## **2. Les enseignantes et enseignants sont focalisés sur l'utilité pédagogique de la RVO et de la RVI. L'utilité pour l'apprentissage ressort aussi de l'expérience étudiante avec la RVO et la RVI, mais de façon moins importante que les dimensions affectives.**

Des avantages pour l'apprentissage offerts par la réalité virtuelle ont été mis en évidence du côté enseignant et du côté étudiant, et ce, tant pour la RVO que pour la RVI.

L'expérience enseignante avec la RVO a été fortement marquée par la mise en évidence d'avantages pédagogiques offerts par les simulations. Les principaux avantages relevés par ceux-ci concernent le fait que les simulations en RVO permettent de diversifier les méthodes d'enseignement et de mettre en place l'apprentissage actif. L'avantage de diversifier les méthodes d'enseignement a aussi été soulevé lors de l'implantation des jeux sérieux en RVI. Les enseignantes et enseignants ont apprécié cette manière différente d'aborder les concepts liés à la matière ciblée dans les jeux sérieux. Ils ont aussi toutefois émis des réserves quant aux apprentissages que la RVI a pu permettre de réaliser chez leurs étudiants et étudiantes.

Plusieurs thèmes et termes issus des analyses qualitatives des données recueillies auprès des étudiants et étudiantes sont en lien avec l'apprentissage. Plusieurs avantages pédagogiques de la RVO ont été rapportés par ceux-ci tels que le lien théorie-pratique facilité par les simulations ainsi

que les pratiques d'apprentissage actif mises en place dans les scénarios pédagogiques des enseignants et enseignantes leur permettant d'être au centre de leurs apprentissages.

Des avantages pour la compréhension et la visualisation semblent ressortir davantage avec la RVI. La réalité virtuelle peut donc offrir des avantages pour faciliter l'apprentissage des concepts abstraits scientifiques à faire apprendre au collégial. Ces résultats concordent avec certains avantages et affordances recensés dans la littérature (Coban *et al.*, 2022; Dalgarno et Lee, 2010; Freina et Ott, 2015; Lewis *et al.*, 2021; Maroukgas *et al.*, 2023; Pellas *et al.*, 2020).

Les résultats de l'échelle utilitaire comparative du questionnaire montrent que les étudiants et étudiantes considèrent les activités en réalité virtuelle (RVO et RVI) plus utiles que les activités d'apprentissage habituelles, bien que la différence soit moins prononcée que dans le cas de l'échelle affective. Les activités en réalité virtuelle génèrent donc des émotions positives telles que du plaisir et aident les étudiants et étudiantes à apprendre. Les analyses lexicales fournies par IRaMuTeQ suggèrent une proximité entre les émotions ressenties et l'apprentissage. La réalité virtuelle aurait donc la possibilité d'apporter ces deux avantages en même temps, ce qui vient contribuer à fournir une expérience d'apprentissage vraiment positive pour les étudiants et étudiantes.

### **3. L'expérience enseignante et étudiante est aussi marquée par des caractéristiques non instrumentales propres à la RVI, notamment l'immersion et la présence.**

L'immersion et la présence ont été évoquées du côté enseignant et du côté étudiant lors de l'essai des différents environnements immersifs. Comme le souligne Mütterlein, (2018), l'immersion et la présence constituent deux des trois piliers de l'expérience en RVI (le troisième étant l'interactivité). Par ailleurs, les aspects visuels de l'environnement virtuel tels que la beauté et les couleurs sont aussi ressortis fortement comme des éléments importants de l'expérience. La perception de ces qualités non instrumentales telles que des aspects esthétiques façonne l'expérience de l'utilisateur en provoquant certaines réactions émotionnelles chez lui (Mahlke, 2008).

D'autres recherches récentes mettent en évidence l'immersion et la présence en RVI (Roy *et al.*, 2023) (Roy *et al.*, 2023). Ces caractéristiques non instrumentales peuvent avoir des effets positifs en éducation. En effet, selon Jensen et Konradsen (2018), l'immersion aurait un impact positif sur les apprentissages. Par ailleurs, le fait d'expérimenter un haut niveau de présence dans un environnement virtuel réaliste permettrait de susciter l'intérêt et la motivation des étudiants et étudiantes, ce qui aura un impact positif sur les apprentissages de différents types de connaissances ainsi que sur le transfert des apprentissages (Makransky et Petersen, 2021).

Ces trois résultats centraux sont en accord avec la littérature selon laquelle l'immersion, le sentiment de présence ainsi que l'interaction qu'offre la réalité virtuelle permettent de proposer des activités d'apprentissage émotionnellement engageantes, ce qui peut avoir des répercussions sur le plan cognitif (Vesisenaho *et al.*, 2019). Alors que les dimensions affectives seraient sous-exploitées dans les modèles de la motivation (Molinari *et al.*, 2016), les dispositifs pédagogiques intégrant la réalité virtuelle tels que ceux utilisés dans notre étude semblent offrir l'avantage d'agir directement à ce niveau tout en apportant des bénéfices pour les apprentissages.

### **4. Des aspects moins positifs en lien avec l'utilisabilité et l'utilité pédagogique ressortent aussi de l'expérience enseignante avec la RVO et la RVI.**

Bien que plusieurs éléments positifs soient ressortis de l'expérience enseignante et étudiante, nous ne pouvons passer sous silence certains aspects moins positifs soulevés par les enseignants et enseignantes.

Certains aspects liés à l'utilisabilité, qui s'intègrent dans la perception des qualités instrumentales du modèle de l'expérience utilisateur de Mahlke (2008), tels que des difficultés de navigation, des problèmes techniques ainsi que la familiarisation que nécessite la réalité virtuelle ont été mentionnés par les enseignants et enseignantes. Ces éléments liés à l'utilisabilité sont, en effet, préoccupants pour eux compte tenu du défi que représente déjà l'implantation de la réalité virtuelle dans une classe, notamment sur le plan logistique.

Par ailleurs, d'autres aspects moins positifs plutôt en lien avec la façon dont les contenus scientifiques ont été représentés dans les applications de réalité virtuelle ont aussi été mentionnés par les enseignants et enseignantes. Ces éléments, que nous mettons en lien avec l'utilité (pédagogique) du modèle de Mahlke (2008) ainsi qu'avec des éléments didactiques liés aux formes de représentation de la matière (Shulman, 1987), mettent en exergue l'importance de l'exactitude et de la pertinence pédagogique des contenus abordés en VR. Par ailleurs, après l'implantation de la RVI en classe, malgré une perception plutôt positive, plusieurs enseignantes et enseignants se sont questionnés quant aux impacts réels sur les apprentissages des étudiants et étudiantes alors qu'ils n'avaient pas de doute quant aux impacts sur leur motivation. Par ailleurs, les effets de la réalité virtuelle sur l'apprentissage commencent à être démontrés dans certaines méta-analyses récentes (Yu, 2021), et plus particulièrement pour la RVI. Ces questionnements soulèvent l'importance que les concepteurs d'applications éducatives en réalité virtuelle les développent en considérant l'utilité pédagogique de ces applications dans des cours précis.

## Conclusion

L'objectif de cet article était de décrire l'expérience enseignante et étudiante quant à l'intégration dans des cours de sciences au postsecondaire de scénarios pédagogiques comportant des simulations ou jeux sérieux en réalité virtuelle (non immersive et immersive). Les résultats montrent que l'expérimentation de la réalité virtuelle non immersive et immersive suscite des émotions positives chez les étudiants et étudiantes tout en offrant des avantages pour l'apprentissage du point de vue étudiant et enseignant. L'immersion et la présence perçues en RVI marquent aussi l'expérience, ce qui peut stimuler les apprentissages. Dans la perspective de la baisse de l'intérêt pour les sciences, il semble que la RVO et la RVI offrent le potentiel d'engager les étudiants et étudiantes sur le plan affectif tout en misant sur une plus grande contextualisation qui rende les apprentissages signifiants et en leur ouvrant de nouvelles possibilités de visualiser ou de comprendre la matière. Les cadres scolaires pourraient faciliter le déploiement de ces solutions en s'assurant que des budgets soient dégagés pour l'acquisition de licences pour des produits en RVO et que des équipes d'accompagnement soient présentes lorsque les enseignants et enseignantes veulent expérimenter la RVI.

La principale force de cette étude réside dans la convergence de l'ensemble des analyses concernant les principaux résultats, malgré la grande diversité des contextes dans lesquels l'étude s'est déroulée. Cette convergence nous permet une compréhension plus fine de l'expérience enseignante et étudiante dans l'utilisation de la RVO et de la RVI en enseignement supérieur.

En ce qui a trait aux limites de l'étude, bien que les nombreuses analyses qualitatives que nous avons menées nous ont aidés à mieux comprendre l'expérience des enseignants et des étudiants expérimentant la réalité virtuelle, les résultats obtenus ne sont pas généralisables. De plus, les analyses qualitatives ont été réalisées sur un petit échantillon étudiant dans le cas de la RVI. Enfin, l'implantation de la RVI a été réalisée avec des prototypes de jeux sérieux, qui n'étaient pas optimaux lors de la première expérimentation, ce qui a entraîné des effets sur l'expérience étudiante.

La recherche future pourrait s'intéresser plus spécifiquement aux mécanismes fins par lesquels la perception de la valeur affective et l'engagement affectif peuvent influencer l'engagement cognitif, la persévérance et l'apprentissage ou la compréhension.

## Note

Cette recherche a été subventionnée par le Fonds de recherche du Québec – Société et culture (FRQSC) dans le cadre du Programme de recherche-action sur le numérique en éducation et en enseignement supérieur (volet Projet de recherche-action).

## Références

- Allcoat, D., Hatchard, T., Azmat, F., Stansfield, K., Watson, D. et von Mühlénen, A. (2021). Education in the digital age: Learning experience in virtual and mixed realities. *Journal of Educational Computing Research*, 59(5), 795-816. <https://doi.org/gqtb5g>
- Allcoat, D. et Mühlénen, A. von. (2018). Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement. *Research in Learning Technology*, 26. <https://doi.org/10.25304/rlt.v26.2140>
- Anderhag, P., Wickman, P.-O., Bergqvist, K., Jakobson, B., Hamza, K. M. et Säljö, R. (2016). Why do secondary school students lose their interest in science? Or does it never emerge? A possible and overlooked explanation. *Science Education*, 100(5), 791-813. <https://doi.org/10.1002/sce.21231>
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall.
- Barcenilla, J. et Bastien, J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur? *Le travail humain*, 72(2009/4), 311-331. <https://doi.org/10.3917/th.724.0311>
- Barnby, P., Kind, P. M. et Jones, K. (2008). Examining changing attitudes in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1075-1093. <https://doi.org/ft2kr2>
- Børte, K., Nesje, K. et Lillejord, S. (2023). Barriers to student active learning in higher education. *Teaching in Higher Education*, 28(3), 597-615. <https://doi.org/gh3nv3>
- Christidou, V. (2011). Interest, attitudes and images related to science: Combining students' voices with the voices of school science, teachers, and popular science. *International Journal of Environmental and Science Education*, 6(2), 141-159. <https://eric.ed.gov/?id=EJ944846>
- Coban, M., Bolat, Y. I. et Goksu, I. (2022). The potential of immersive virtual reality to enhance learning: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 36, article 100452. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100452>
- Conseil de la science et de la technologie. (2004). *La culture scientifique et technique : une interface entre la technologie et la société – Rapport de conjoncture 2004*. Gouvernement du Québec. <https://numerique.banq.qc.ca/...>

- Dalgarno, B. et Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32. <https://doi.org/cmm6xk>
- Eccles, J. S. et Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 109-132. <https://doi.org/10/dhmnvv>
- Forlizzi, J. et Ford, S. (2000). The building blocks of experience: An early framework for interaction designers. Dans D. Boyarski et W. A. Kellogg (dir.), *Proceedings of DIS '00 – 3rd Conference on Designing Interactive Systems: Processes, practices, methods, and techniques* (p. 419-423). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/fbqdbp>
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C. et Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59-109. <https://doi.org/btdzg6>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. et Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/gctkrm>
- Freina, L. et Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. Dans I. Roceanu, F. Moldoveanu, S. Trausan-Matu, D. Barbieru, D. Beligan et A. Ionita (dir.), *Proceedings of the 11th International Conference eLearning and Software for Education (eLSE 2015)* (vol. 1, p. 133-141). “CAROL I” National Defence University Publishing House. <https://doi.org/ggcj98>
- Gephart, R. P., Jr. (1993). The textual approach: Risk and blame in disaster sensemaking. *Academy of Management Journal*, 36(6), 1465-1514. <https://journals.aom.org/...>
- Hassenzahl, M. et Tractinsky, N. (2006). User experience – A research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25(2), 91-97. <https://doi.org/djx9nq>
- Jensen, L. et Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515-1529. <https://doi.org/gf7f7s>
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/fg392k>
- Kirakowski, J. (1996). The software usability measurement inventory: Background and usage. Dans P. W. Jordan, B. Thomas, I. L. McClelland et B. Weerdmeester (dir.), *Usability evaluation in industry* (p. 169-178). CRC Press. <https://doi.org/m5cf>
- Laboratoire de cyberpsychologie de l'UQO. (s.d.). *Immersion / Présence*. Récupéré le 26 octobre 2023 de <http://w3.uqo.ca/...>
- Lee, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication Theory*, 14(1), 27-50. <https://doi.org/cw7f7f>
- 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://doi.org/10.52358/mm.vi5.161>

- Mahlke, S. (2008). *User experience of interaction with technical systems* [thèse de doctorat, Universität Berlin, Allemagne]. DepositOnce. <https://doi.org/10.14279/depositonce-1793>
- Makransky, G. et Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1141-1164. <https://doi.org/gd52wq>
- Makransky, G. et Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937-958. <https://doi.org/gk5qzw>
- Maroungkas, A., Troussas, C., Krouska, A. et Sgouropoulou, C. (2023). How personalized and effective is immersive virtual reality in education? A systematic literature review for the last decade. *Multimedia Tools and Applications*, 83(5), 18185-18233 <https://doi.org/krt8>
- Marquis, C., Poellhuber, B. et Wall-Lacelle, S. (2022). La réalité virtuelle pour mieux apprendre les sciences. *Spectre*, 52(1), 44-48. <https://aestq.org/fr/la-realite-virtuelle>
- Marquis, C., Poellhuber, B., Wall-Lacelle, S. et Roy, N. (2023). Un processus et des principes pour le développement de jeux sérieux en réalité virtuelle immersive. *Médiations et médiatisations*, (15), 99-122. <https://doi.org/10.52358/mm.vi15.356>
- Miles, M. B. et Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives* (2<sup>e</sup> éd.; M. H. Rispaal, trad.). De Boeck Université. (Ouvrage original publié en 1994 sous le titre *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook.*)
- Mohr, J. W. (1998). Measuring meaning structures. *Annual Review of Sociology*, 24(1), 345-370. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.24.1.345>
- Molinari, G., Poellhuber, B., Heutte, J., Lavoué, E., Widmer, D. S. et Caron, P.-A. (2016). L'engagement et la persistance dans les dispositifs de formation en ligne : regards croisés. *Distances et médiations des savoirs*, (13). <https://doi.org/10.4000/dms.1332>
- Mütterlein, J. (2018). The three pillars of virtual reality? Investigating the roles of immersion, presence, and interactivity. Dans T. Bui (prés.), *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*. AIS eLibrary. <https://aisel.aisnet.org/...>
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.
- OCDE. (2019). *Résultats du PISA 2018 – Savoirs et savoir-faire des élèves – Performances des élèves en mathématiques, en compréhension de l'écrit et en sciences (volume I)*. <https://doi.org/10.1787/ec30bPc50-fr>
- Örnek, F., R Robinson, W. et Haugan, M. (2008). What makes physics difficult. *International Journal of Environmental & Science Education*, 3(1), 30-34. <http://eric.ed.gov/?id=EJ894842>
- Pellas, N., Dengel, A. et Christopoulos, A. (2020). A scoping review of immersive virtual reality in STEM education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(4), 748-761. <https://doi.org/10.1109/TLT.2020.3019405>
- Pintrich, P. R. (2003). Motivation and classroom learning. Dans I. B. Weiner (dir.), *Handbook of psychology*. Wiley. <https://doi.org/dq4qnx>

- Poellhuber, B., Roy, N., Marquis, C., Groleau, A., Wall-Lacelle, S. et Fortin, M.-N. (2024). *Intégration de scénarios de réalité virtuelle en sciences au postsecondaire* [rapport de recherche]. Fonds de recherche du Québec – Société et culture. <https://frq.gouv.qc.ca/...>
- Potvin, P. et Hasni, A. (2014a). Analysis of the decline in interest towards school science and technology from grades 5 through 11. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 784-802. <https://doi.org/f6pkpg>
- Potvin, P. et Hasni, A. (2014b). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: A systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85-129. <https://doi.org/ch5w>
- Reinert, M. (1990). Une méthode de classification des énoncés d'un corpus présentée à l'aide d'une application. *Les cahiers de l'analyse des données*, 15(1), 21-36. <http://numdam.org/...>
- Rosenfield, Steven, Dedic, H., Dickie, L., Rosenfield, E., Aulls, M., Koestner, R., Krishtalka, A., Milkman, K. et Abrami, P. (2005). *Étude des facteurs aptes à influencer la réussite et la rétention dans les programmes de la science aux cégeps anglophones*. Vanier College. <https://citeseerx.ist.psu.edu/...>
- Roy, N. et Garon, R. (2013). Étude comparative des logiciels d'aide à l'analyse de données qualitatives : de l'approche automatique à l'approche manuelle. *Recherches qualitatives*, 32(1), 154-180. <https://doi.org/10.7202/1084616ar>
- Roy, N., Poellhuber, B. et Larouche, M.-C. (2023). Le potentiel didactique et pédagogique des technologies immersives en classe de Monde contemporain : opportunités et défis. *Médiations et médiatisations*, (16), 138-152. <https://doi.org/10.52358/mm.vi16.359>
- Ryan, M.-L. (1999). Immersion vs. interactivity: Virtual reality and literary theory. *SubStance*, 28(2), 110-137. <https://doi.org/10.2307/3685793>
- Scherer, K. R. (1984). On the nature and function of emotion: A component process approach. Dans K. R. Scherer et P. Ekman (dir.), *Approaches to emotion* (p. 293-317). Psychology Press.
- Scherer, K. R. (2001). Appraisal considered as a process of multilevel sequential checking. Dans K. R. Scherer, A. Schorr et T. Johnstone (dir.), *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research* (p. 92-120). Oxford University Press.
- Sherman, W. R. et Craig, A. B. (2018). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design* (2<sup>e</sup> éd.). Morgan Kaufmann.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-23. <https://doi.org/gc8qnc>
- Skinner, E. A., Kindermann, T. A. et Furrer, C. J. (2009). A motivational perspective on engagement and disaffection: Conceptualization and assessment of children's behavioral and emotional participation in academic activities in the classroom. *Educational and Psychological Measurement*, 69(3), 493-525. <https://doi.org/bwz58g>
- Slater, M. et Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603-616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>

- Ślósarz, L., Jurczyk-Romanowska, E., Rosińczuk, J. et Kazimierska-Zajac, M. (2022). Virtual reality as a teaching resource which reinforces emotions in the teaching process. *SAGE Open*, 12(3). <https://doi.org/m5d4>
- Stains, M., Harshman, J., Barker, M. K., Chasteen, S. V., Cole, R., DeChenne-Peters, S. E., M. Kevin Eagan, J., Esson, J. M., Knight, J. K., Laski, F. A., Levis-Fitzgerald, M., Lee, C. J., Lo, S. M., McDonnell, L. M., McKay, T. A., Michelotti, N., Palmer, M. S., Plank, K. M., Rodela, T. M., ... Young, A. M. (2018). Anatomy of STEM teaching in American universities: A snapshot from a large-scale observation study. *Science*, 359(6383), 1468-1470. <https://doi.org/10.1126/science.aap8892>
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93. <https://doi.org/bsc5p5>
- Vesisenaho, M., Juntunen, M., Häkkinen, P., Pöysä-Tarhonen, J., Fagerlund, J., Miakush, I. et Parviainen, T. (2019). Virtual reality in education: Focus on the role of emotions and physiological reactivity. *Journal of Virtual Worlds Research*, 12(1). <https://doi.org/10.4101/jvwr.v12i1.7329>
- Witmer, B. G. et Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240. <https://doi.org/dw9b5s>
- Yu, Z. (2021). A meta-analysis of the effect of virtual reality technology use in education. *Interactive Learning Environments*, 31(8), 4956-4976. <https://doi.org/krvz>