



Un processus et des principes pour le développement de jeux sérieux en réalité virtuelle immersive

A Process and Principles for the Design and Development of Immersive Virtual Reality Educational Applications

Un proceso y algunos principios para el diseño y el desarrollo de aplicaciones educativas de realidad virtual inmersiva

<https://doi.org/10.52358/mmm.vi15.356>

Christine Marquis, enseignante et chercheuse de collègue
Cégep de Saint-Jérôme, Canada
christine_marquis@hotmail.com

Bruno Poellhuber, professeur
Université de Montréal, Canada
bruno.poellhuber@umontreal.ca

Sébastien Wall-Lacelle, enseignant
Cégep de Saint-Jérôme, Canada
swall@cstj.qc.ca

Normand Roy, professeur
Université de Montréal, Canada
normand.roy@umontreal.ca

RÉSUMÉ

La réalité virtuelle, qui implique un environnement généré par un système informatique donnant une impression de réalité, de présence et d'engagement (Pellas *et al.*, 2020), a connu des développements dans le domaine de l'éducation (Freina et Ott, 2015; Jensen et Konradson, 2018). Les avantages qu'elle présente, notamment pour la visualisation des concepts abstraits, pour la réalisation de tâches expérimentales difficiles ou impossibles à



réaliser dans la réalité ainsi que pour la motivation, l'engagement et le transfert des apprentissages la rendent particulièrement utile pour l'apprentissage des sciences (Dalgarno et Lee, 2010; Lewis *et al.*, 2021; Shin, 2017). En nous ancrant dans une démarche adaptée de l'analyse de la valeur pédagogique (Rocque *et al.*, 1998), du modèle ADDIE, de l'art de la conception des jeux sérieux (Ryerson University, 2018) et d'un modèle de conception d'applications en réalité virtuelle (Vergara *et al.*, 2017), nous avons développé de manière itérative différents jeux sérieux en réalité virtuelle en sciences au collégial (biologie, chimie et physique) pour finalement les mettre à l'essai en classe à l'automne 2022. Cet article vise à partager le processus expérimenté pour le développement, les résultats de chacune des étapes de ce processus ainsi que les principes qui en sont ressortis. Le tout sera utile aux acteurs du milieu de l'éducation désirant développer des jeux sérieux en réalité virtuelle.

Mots-clés : technologies immersives, enseignement des sciences, ludification, jeux sérieux, design, analyse de la valeur pédagogique

ABSTRACT

Virtual reality, which involves a computer-generated environment that gives a sense of reality, presence, and engagement (Pellas *et al.*, 2020), has recently seen significant developments in education (Freina and Ott, 2015; Jensen and Konradsen, 2018). Its advantages, including visualizing abstract concepts, performing experimental tasks that are difficult or impossible in real life, as well as its' capacity to facilitate motivation, engagement, and transfer of learning, make it particularly useful for science learning (Dalgarno and Lee, 2010; Lewis *et al.*, 2021; Shin, 2017). Anchored in an approach adapted from pedagogical value analysis (Rocque *et al.*, 1998), the ADDIE model, the Art of Serious Game Design (Ryerson University, 2018), and a virtual reality application design model (Vergara *et al.*, 2017), we iteratively developed different virtual reality serious games in CEGEP science courses (biology, chemistry, and physics). We ultimately piloted them in classrooms in the fall of 2022. This article aims to share the process used for developing our VR serious games, the results of each step of this process, and the principles that emerged from it. This will be useful to those in the education community who wish to develop virtual reality applications and/or serious games.

Keywords: immersive technologies, science education, gamification, serious games, design, educational value analysis

RESUMEN

La realidad virtual, que implica un entorno generado por ordenador que da sensación de realidad, presencia y compromiso (Pellas *et al.*, 2020), ha experimentado un marcado desarrollo en la educación (Freina y Ott, 2015; Jensen y Konradsen, 2018). Sus ventajas, como la visualización de conceptos abstractos, la realización de tareas experimentales difíciles o imposibles de hacer en la realidad, y la motivación, el compromiso y la transferencia del aprendizaje, la hacen especialmente útil para el aprendizaje de las ciencias (Dalgarno y Lee, 2010; Lewis *et al.*, 2021; Shin, 2017). Basándonos en un enfoque adaptado del análisis de valor pedagógico (Rocque *et al.*, 1998), el modelo ADDIE, el arte del diseño de juegos serios (Ryerson University, 2018) y un modelo de diseño de aplicaciones de realidad virtual (Vergara *et al.*, 2017), desarrollamos iterativamente diferentes juegos serios de realidad virtual en ciencias universitarias (biología, química y física), y finalmente los pilotamos en las aulas



en otoño de 2022. Este artículo tiene como objetivo compartir el proceso de desarrollo, los resultados de cada paso de dicho proceso, así como los principios que surgieron del mismo. Será de utilidad para quienes, en el sector educativo, deseen desarrollar juegos serios en realidad virtual.

Palabras clave: tecnologías inmersivas, enseñanza de las ciencias, ludificación, juegos serios, diseño, análisis del valor educativo

Cet article présente le processus que nous avons suivi pour le développement de jeux sérieux en réalité virtuelle (RV) immersive pour l'apprentissage de concepts de biologie, de chimie et de physique prescrits dans le programme d'études collégiales en sciences de la nature ainsi que les principes de design qui en découlent.

Problématique

Malgré l'importance des sciences pour la société, les études démontrent une baisse d'intérêt des étudiants pour ces disciplines alors qu'ils progressent dans le système scolaire, et ce, à travers le monde (Potvin et Hasni, 2014). Ce désintérêt se manifesterait au secondaire alors que plusieurs apprenants commencent à percevoir les sciences comme difficiles et ennuyeuses.

Les sciences apparaissent souvent rébarbatives pour les étudiants à cause, entre autres, des concepts abstraits qu'elles sous-tendent (Johnstone, 1991). En effet, les concepts scientifiques ne sont souvent pas perceptibles à l'aide des sens et doivent être conceptualisés par des définitions impliquant des termes complexes qui sont souvent problématiques (Taber, 2001). Ils sont aussi souvent enseignés de manière décontextualisée (Barmby *et al.*, 2008).

De plus, les méthodes pédagogiques priorisées pour l'enseignement des sciences, souvent basées sur des approches transmissives, peuvent aussi être mises en cause pour expliquer cette baisse d'intérêt des étudiants (Rosenfield *et al.*, 2005).

L'emploi du numérique et d'approches misant sur les pédagogies actives semble prometteur selon les recherches menées sur les classes d'apprentissage actif (Beichner *et al.*, 2000) ou la méta-analyse sur les effets de l'apprentissage actif dans le domaine des sciences (Freeman *et al.*, 2014).

La RV peut venir apporter des solutions à ces problématiques liées à la baisse d'intérêt des étudiants, aux méthodes pédagogiques transmissives prédominantes ainsi qu'à la nature abstraite des concepts identifiés dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences. Bien qu'il existe certaines applications éducatives en RV immersive sur le marché, celles-ci sont relativement peu nombreuses. De plus, elles sont souvent peu pertinentes sur le plan pédagogique au regard des objectifs du cours. Nous avons donc ainsi tenté de savoir ce qui caractérise une bonne application de RV immersive pour l'apprentissage, et comment on peut s'y prendre pour en développer.



Cadre théorique

Nous aborderons d'abord le concept de réalité virtuelle avant de définir les jeux sérieux. Ensuite, nous présenterons les avantages que la RV présente pour l'apprentissage en lien, notamment, avec les problématiques identifiées plus haut.

1. La réalité virtuelle

Plusieurs définitions sont évoquées dans la littérature au sujet de la réalité virtuelle. Dans leur recension d'écrits, Freina et Ott (2015) reprennent la définition du Oxford Dictionary pour définir celle-ci comme étant 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 (traduction libre). Pellas *et al.* (2020, p. 1) décrivent la réalité virtuelle comme ce qui 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. Enfin, Sherman et Craig (2018, p. 16) la définissent comme 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. Certains éléments clés tels que les concepts d'immersion, de présence et d'interactivité ressortent donc des différentes définitions de la réalité virtuelle.

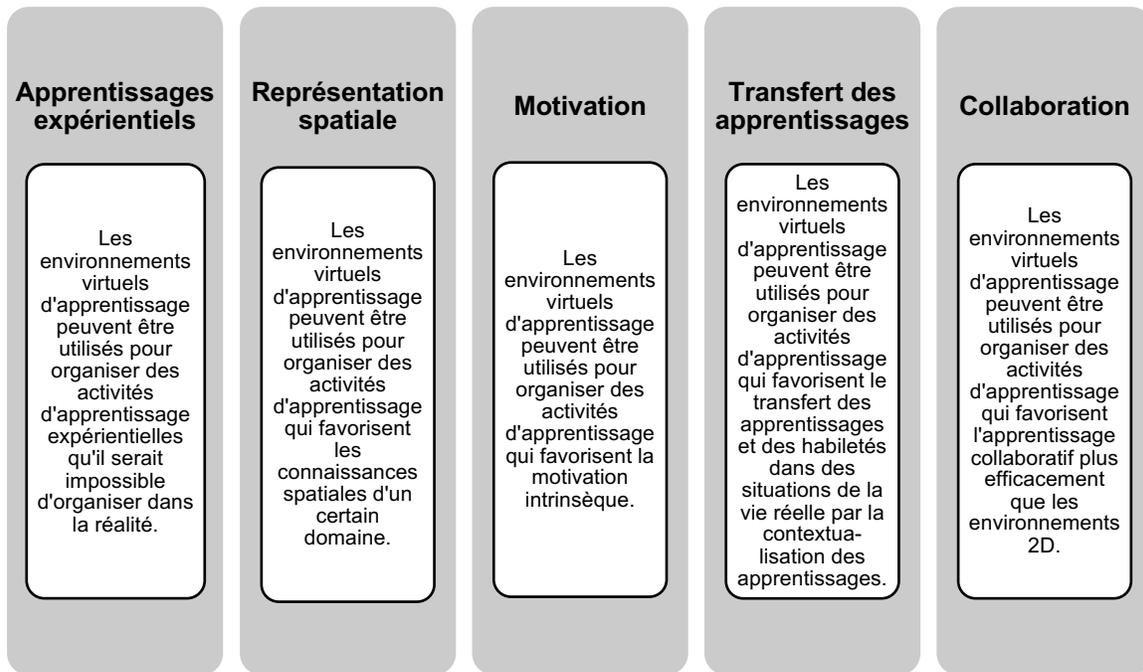
Comme souligné par Mütterlein (2018), les concepts d'immersion, de présence et d'interactivité sont donc centraux en RV. L'immersion est ce qui permet l'introduction de la croyance, chez la personne qui expérimente la réalité virtuelle, qu'elle a quitté le monde réel et qu'elle se trouve maintenant dans l'environnement virtuel. Alors que pour certains auteurs l'immersion est davantage perçue comme un attribut technologique des systèmes de réalité virtuelle permettant de fournir une illusion de réalité inclusive (Slater et Wilbur, 1997), pour d'autres, elle est davantage perçue comme un état psychologique où l'on se sent inclus et enveloppé par l'environnement (Witmer et Singer, 1998). Ensuite, la notion de présence renvoie à cette perception d'être vraiment présent dans l'environnement virtuel même si vous vous trouvez physiquement dans le monde réel (Witmer et Singer, 1998). Enfin, la réalité virtuelle offre la possibilité d'interaction avec l'environnement. 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 réagira aux réponses.



La réalité virtuelle est un outil prometteur pour l'éducation grâce aux nombreuses possibilités qu'elle offre pour l'apprentissage. Dalgarno et Lee (2010) identifient cinq affordances d'apprentissage des environnements virtuels d'apprentissage 3D (figure 1). Ces auteurs utilisent le terme *affordance*, qui est défini comme « une action qui naît des interactions entre un "agent" (une personne) et son environnement » (traduction libre de Nye et Silverman, 2012). Dalgarno et Lee (2010) considèrent que ce sont les activités et les stratégies pédagogiques soutenues par la technologie (plutôt que la technologie elle-même) qui ont un impact positif sur l'apprentissage.

Figure 1

Les affordances d'apprentissage des environnements virtuels 3D selon Dalgarno et Lee (2010)



Note. Traduit et adapté de Oh et Nussli (2014, p. 39, fig. 3), sous licence CC-BY.

La RV peut permettre de réaliser des expérimentations difficiles ou impossibles à faire dans la réalité. La manipulation d'objets dans des environnements dangereux de manière sécuritaire ou encore l'initiation à des appareils qui sont trop coûteux pour les laboratoires en sont des exemples (Lewis *et al.*, 2021). De la même façon, elle permet de s'adapter à différentes échelles de grandeur (comme l'infiniment petit et l'infiniment grand) et d'accéder à des concepts ou des phénomènes abstraits imperceptibles à l'aide des sens (Winn, 1993).

Par ailleurs, ces environnements peuvent aider les étudiants à se représenter des concepts abstraits grâce à l'interaction avec des objets dans l'environnement 3D. La représentation spatiale offerte par la RV grâce à la modélisation 3D ainsi que la possibilité de voir ces objets sous plusieurs angles peuvent favoriser les apprentissages ou les habiletés spatiales, comme la visualisation et la manipulation de molécules ou le déplacement dans des espaces tridimensionnels.



La RV peut aussi permettre de proposer des activités d'apprentissage engageantes qui favorisent la motivation intrinsèque en raison de la possibilité de faire des choix dans l'environnement et en raison, notamment, de l'utilisation d'approches ludiques basées sur le jeu.

Aussi, grâce à la contextualisation qu'elle permet, la RV contribue à proposer des activités d'apprentissage permettant aux étudiants de mieux appliquer les concepts, favorisant ainsi le transfert de ces apprentissages. En effet, elle permet de situer les apprentissages dans un contexte authentique en offrant des environnements interactifs et réalistes, ce qui peut contribuer à la réutilisation des connaissances dans d'autres contextes.

Enfin, les environnements virtuels 3D multijoueurs peuvent favoriser des apprentissages collaboratifs en misant sur l'interdépendance positive de sorte que chaque étudiant contribue à l'atteinte de l'objectif final.

2. Les jeux sérieux

Les jeux sérieux (*serious games*) sont définis par Alvarez (2007, p. 9) comme étant une application informatique, dont l'intention initiale est de combiner à la fois des aspects sérieux (*serious*) tels, de manière non exhaustive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (*game*). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation (la mise en œuvre) d'un scénario pédagogique, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement.

Si plusieurs recherches ont été effectuées sur des jeux sérieux au secondaire, on retrouve peu de littérature sur des jeux sérieux adaptés au contexte de l'enseignement des sciences au collégial.

3. Des modèles de développement

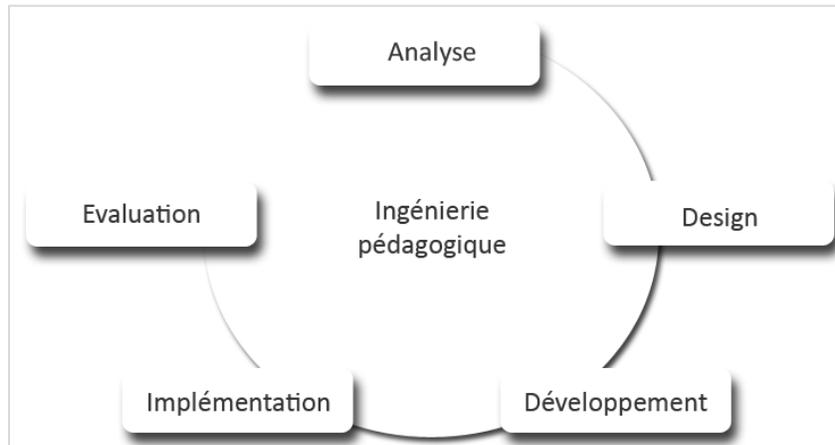
Afin de nous assurer que les jeux sérieux que nous voulions développer en RV présentent les principaux avantages de la RV décrits plus haut, nous avons consulté des modèles de développements issus de l'ingénierie pédagogique, du jeu vidéo ainsi que liés à la conception d'environnements virtuels immersifs.

LE MODÈLE ADDIE

D'abord, le modèle ADDIE, un modèle d'ingénierie pédagogique connu, comporte cinq phases présentées à la figure 2, soit l'analyse, le design, le développement, l'implantation et l'évaluation (d'où l'acronyme ADDIE) (Branch, 2009).



Figure 2
Modèle ADDIE



Note. Source : [Wikipedia](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3296647). Par Vincent Mar. Travail personnel, sous licence CC BY 3.0.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3296647>

La phase d'**analyse** consiste à analyser certains éléments qui orienteront la conception de la ressource d'apprentissage : les besoins (en considérant les difficultés des étudiants), les caractéristiques du public cible, le contexte, les ressources existantes, les contraintes et surtout, les objectifs d'apprentissage. En lien avec cette analyse, la phase de **design** vise à concevoir le plan d'ensemble du projet de manière qu'il y ait une cohérence entre les besoins, les objectifs, les stratégies et l'évaluation. La phase de **développement** consiste à élaborer le dispositif d'apprentissage et les différentes ressources prévus lors de la phase de design. Elle nécessite des tests et des évaluations pilotes du prototype. Ensuite, la phase d'**implantation** permet de rendre le dispositif d'apprentissage disponible pour les étudiants et les enseignants. Enfin, la phase d'**évaluation** consiste à évaluer la ressource d'apprentissage de manière formative et sommative pour s'assurer qu'elle permet d'atteindre les objectifs déterminés. Elle peut être réalisée lors de l'une ou l'autre des phases du modèle.

Les phases de ce modèle étant plutôt générales, nous nous sommes aussi référés à d'autres modèles de développement qui concernent les jeux sérieux et les applications de RV afin d'avoir des indications plus spécifiques, notamment pour les phases de design et de développement dans le contexte spécifique du développement de jeux sérieux en RV.

THE ART OF SERIOUS GAME, UN MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT DE JEU ÉDUCATIF POUR L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

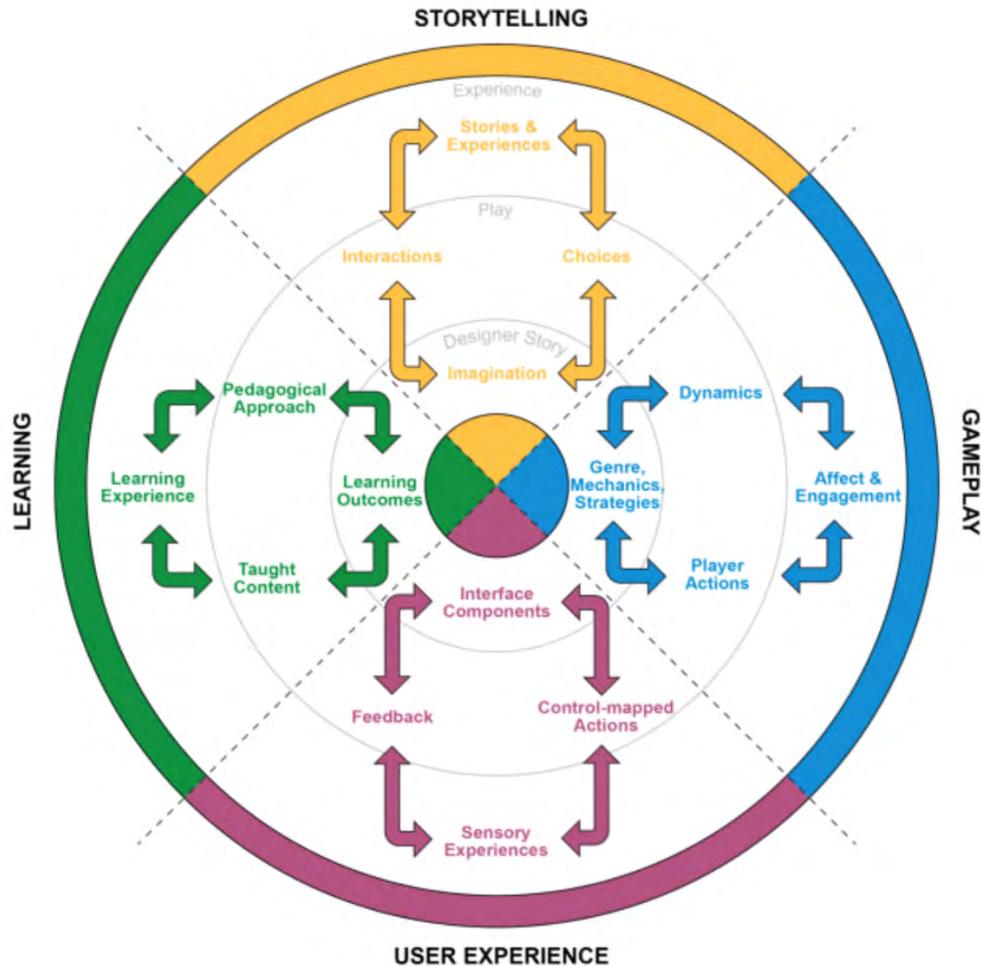
Le modèle *The Art of Serious Game Design* a été élaboré par une équipe interdisciplinaire de l'Université Ryerson dans le but de fournir un modèle de conception rapide et collaborative des jeux sérieux.

Comme illustré à la figure 3, le modèle est représenté par un cercle séparé en quatre cadrans dans lesquels sont identifiés quatre éléments également importants du jeu : l'apprentissage (*learning*), l'histoire (*storytelling*), le *gameplay* et l'expérience utilisateur (*user experience*).



Figure 3

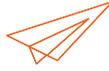
Le cercle méthodologique de l'art de la conception de jeux sérieux



Note. Source : Ryerson University *et al.* (2018). Sous licence CC BY-NC-SA.

Le cadran d'apprentissage (*learning*) fait référence au contenu que les joueurs doivent apprendre au moyen du jeu et des objectifs d'apprentissage clairs et mesurables. L'histoire (*storytelling*) fait référence à l'histoire du jeu et comprend une description du ou des personnages, du contexte et du but ultime du jeu. La jouabilité (*gameplay*) fait référence à la manière dont le joueur interagit avec le jeu ou avec d'autres joueurs ainsi qu'aux types d'activités (par exemple, puzzle, jeu-questionnaire, etc.) retrouvés dans le jeu. L'expérience utilisateur (*user experience*) fait référence aux émotions et aux attitudes du joueur ainsi qu'à la façon dont il interagit avec le jeu.

L'application du modèle se déroule en trois phases : la phase de préproduction (un premier *brainstorming* entre les experts de contenu et les ingénieurs pédagogiques vise à les initier à la méthodologie et à identifier les objectifs d'apprentissage, et un deuxième *brainstorming* collaboratif réunissant les designers de jeu, les développeurs et autres membres de l'équipe pour remplir le cercle méthodologique de



différentes notes autocollantes permettant d'aboutir à un premier prototype papier du jeu), la phase de production (le jeu est élaboré) et la phase de postproduction (le jeu est amélioré avant d'être utilisé par les apprenants).

Ce modèle s'avère particulièrement pertinent pour le développement de jeux sérieux en RV immersive en précisant des thèmes à considérer lors de l'idéation dans le cercle méthodologique de l'art de la conception de jeux sérieux. En effet, les questionnements relatifs aux apprentissages, à l'histoire du jeu, à la jouabilité (*gameplay*) et à l'expérience de l'utilisateur sont essentiels dans l'objectif de concevoir des jeux qui seront utiles, amusants et qui procureront une expérience positive aux joueurs. De plus, nous retenons de ce modèle que l'idéation devrait être faite de manière collaborative en réunissant des acteurs possédant une diversité de points de vue et d'expériences relativement à la conception pédagogique (enseignants et conseillers pédagogiques) et au jeu.

LE MODÈLE DE CONCEPTION D'ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE VIRTUELS IMMERSIFS DE VERGARA

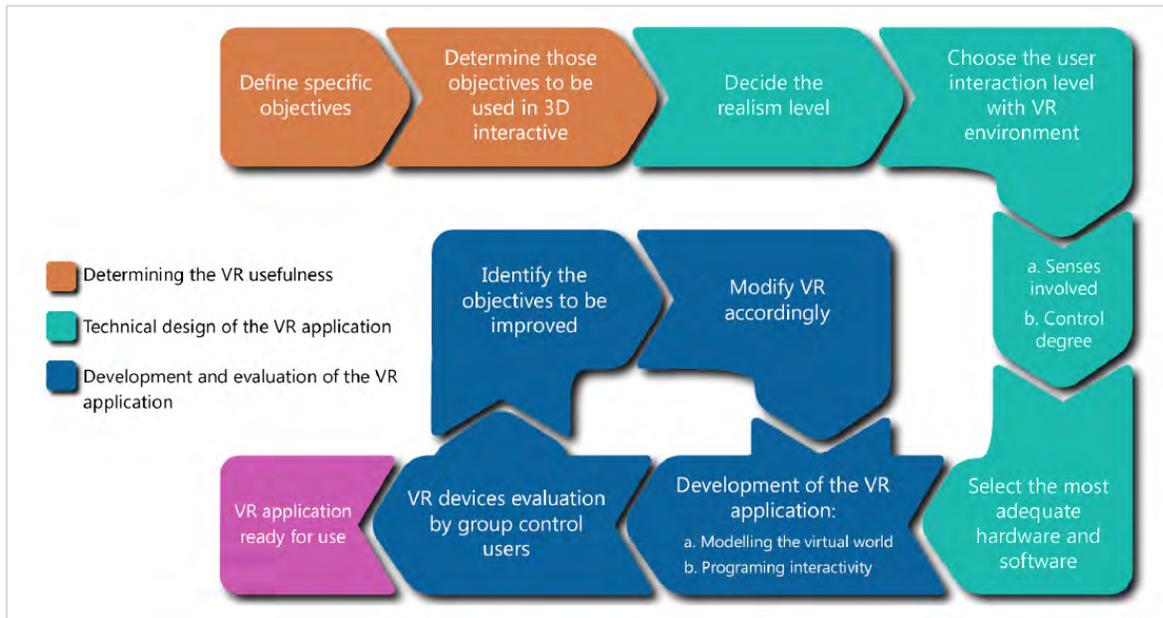
Vergara *et al.* (2017) proposent un modèle pour la conception de ressources en RV (figure 4) qui implique les étapes suivantes.

- Déterminer des objectifs pédagogiques et ceux d'entre eux qui pourront être pris en compte par l'outil RV afin de s'assurer de l'utilité de la réalité virtuelle.
- Décider du niveau de réalisme le plus adéquat pour atteindre chaque objectif, allant de très symbolique ou schématique à très réaliste.
- Choisir le niveau d'interaction de l'utilisateur avec l'environnement de réalité virtuelle, qui détermine i) les sens impliqués (par exemple, tactile, sonore ou visuel uniquement) et ii) le degré de contrôle et d'immersion que l'utilisateur aura.
- Effectuer les choix matériels (*hardware*) et logiciels (*software*) selon les objectifs établis en fonction des options retenues dans les étapes précédentes.
- Modéliser le monde virtuel, programmer l'interactivité et générer l'application RV. Il faut considérer que réduire le temps est essentiel pour obtenir l'expérience en RV la plus réelle possible et pour minimiser les cybermalaises.
- Effectuer des tests sur l'application RV par un groupe d'utilisateurs pilotes. Les résultats des tests permettent de vérifier si les objectifs souhaités sont atteints et d'apporter les modifications nécessaires dans le cas contraire.



Figure 4

Organigramme pour la conception d'une application RV



Note. Source : Vergara et al. (2017). Sous licence CC BY 4.0.

Ce modèle s'avère particulièrement pertinent pour développer des jeux sérieux en RV immersive en proposant de se questionner sur l'utilité de la RV pour atteindre les objectifs pédagogiques déterminés, en guidant quant aux choix techniques à respecter ainsi qu'en donnant des indications spécifiques sur la conception en RV.

Dans le cadre d'un appel à projets du programme NovaScience 2020 du ministère de l'Économie et de l'Innovation¹, notre équipe a obtenu une subvention pour réaliser le développement de jeux sérieux en RV immersive pour l'apprentissage de concepts en biologie, en chimie et en physique qui proposeraient des expériences d'apprentissage motivantes et ludiques. Cet article vise à décrire le processus de développement structuré que nous avons suivi pour ces développements et les résultats de chacune des étapes de développement, ainsi que sept principes de développement que nous avons pu mettre en évidence. Ce processus et ces principes pourront être utiles aux équipes qui souhaitent développer des jeux sérieux en RV.

¹ <https://www.quebec.ca/entreprises-et-travailleurs-autonomes/aide-financiere/recherche-innovation/programme-novascience>



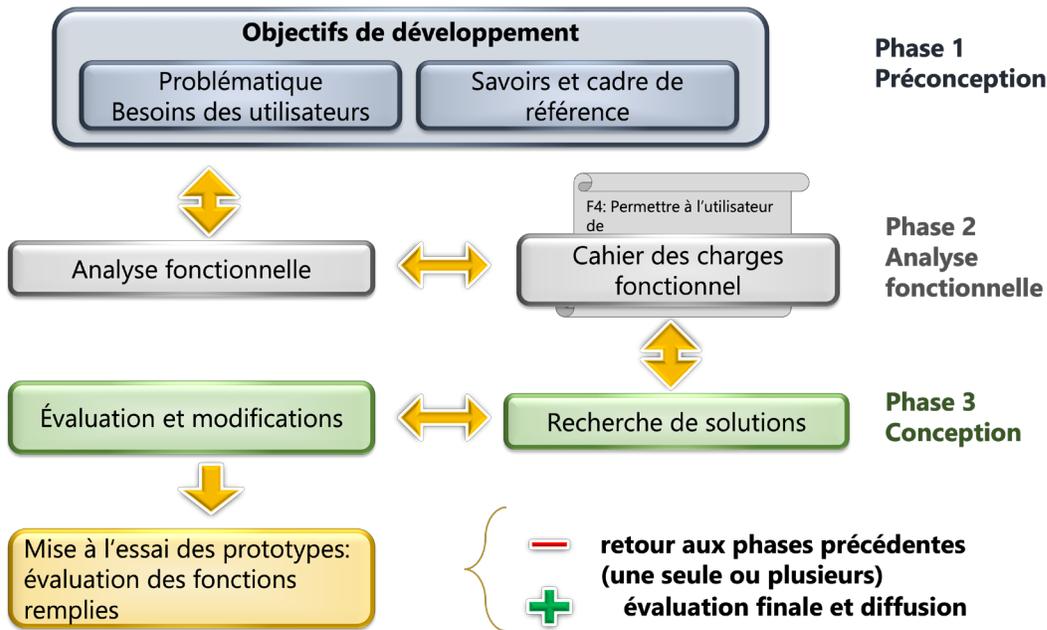
Démarche méthodologique

Notre projet s'inscrit dans une recherche-développement, un type de recherche peu documenté dans le domaine de l'éducation et pour lequel plusieurs démarches sont proposées par les auteurs (Loiselle et Harvey, 2008).

Nous avons utilisé une démarche principalement fondée sur l'analyse de la valeur pédagogique (AVP) (Rocque *et al.*, 1998) pour le développement de nos jeux sérieux en RV. Cette démarche est le fruit d'une adaptation à l'éducation de l'analyse de la valeur (AV), une méthodologie utilisée en ingénierie pour la conception et le développement de nouveaux produits. L'AVP, utilisée dans le cadre de différents projets de recherche et thèses en éducation, est, selon les auteurs, une méthode structurée, systématique et créative pour la conception d'un produit pédagogique visant la satisfaction des utilisateurs. Elle comprend trois phases : la préconception, l'analyse fonctionnelle et la conception du produit visé (figure 5).

Figure 5

Analyse de la valeur pédagogique



Note. © Auteurs.



La phase de préconception implique une analyse des besoins des utilisateurs ainsi qu'une analyse des écrits scientifiques dans le domaine.

La phase d'analyse fonctionnelle vise à identifier les fonctions que le produit ou le service à développer doit remplir. Les fonctions sont les rôles que devrait jouer le produit. Elle opère des analyses, des transformations et des priorisations sur les fonctions identifiées afin d'en arriver à des fonctions qui pourront éventuellement être communiquées à l'équipe de développement à l'étape suivante. Il s'agit d'identifier les fonctions que le produit ou le service à développer doit rencontrer, en laissant la marge de manœuvre à l'équipe de conception afin de déterminer les moyens pour le faire. Nous avons fait le choix d'établir des critères de qualité des applications RV destinées à l'apprentissage des sciences plutôt que des fonctions à remplir par le produit.

Enfin, la phase de conception implique la conception des premiers prototypes, leur mise à l'essai itérative et de procéder aux modifications requises.

Cette démarche, utilisée dans le cadre d'un projet précédent (Poellhuber, 2017), a l'avantage de permettre un développement répondant spécifiquement aux besoins des utilisateurs. Toutefois, elle n'offre pas beaucoup de guidance pour la phase de conception. Cette guidance s'avère essentielle, selon nous, lors du développement des jeux sérieux en RV immersive, car ce type de développement représente des défis techniques et logistiques importants et des développements qui sont très élevés.

Pour nous orienter adéquatement dans les différentes étapes de la conception (idéation et développement), nous avons fait une synthèse et une adaptation des modèles de développement retenus, présentés dans la section précédente du cadre conceptuel. Finalement, bien que nous nous soyons d'abord centrés sur la méthodologie de l'AVP, nous en sommes arrivés à un modèle et à un processus de développement qui s'en distinguent un peu. À partir de cette démarche, nous avons développé de manière itérative deux jeux sérieux en chimie et en biologie de niveau collégial, un troisième étant en cours de développement en physique, en mettant à contribution des équipes disciplinaires d'enseignants à différentes étapes. Les jeux sérieux que nous avons développés en chimie et en biologie ont été testés dans 7 groupes de biologie (140 étudiants) et 6 groupes de chimie (120 étudiants) au trimestre d'automne 2022. Deux entrevues de groupe focalisées sur les différents aspects de l'expérience d'apprentissage vécue par les étudiants ont été réalisées. Les étudiants ont aussi répondu individuellement à un questionnaire portant sur différents aspects de leur motivation et de leur engagement, mais ces résultats seront rapportés ultérieurement.

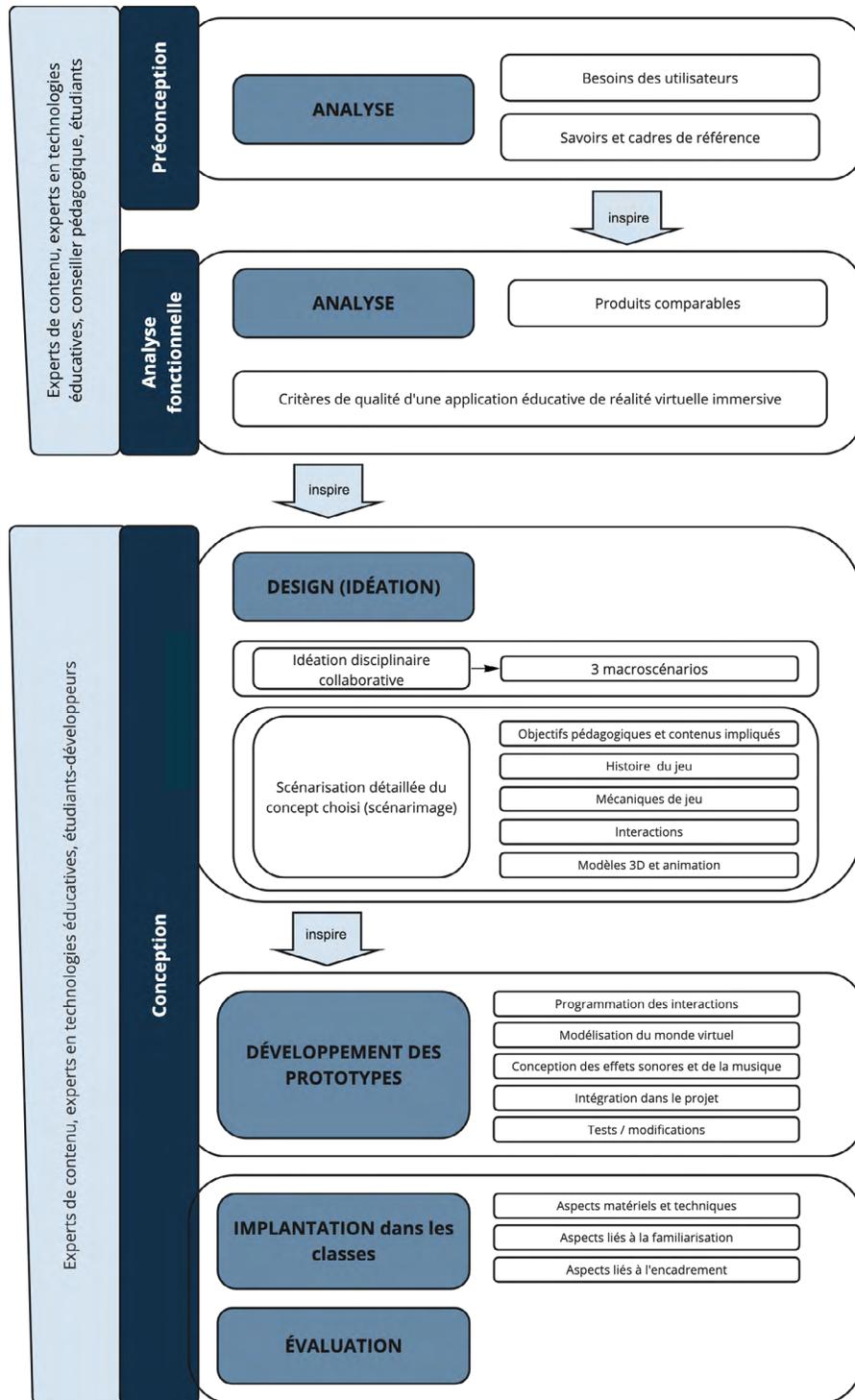
Résultats par étape du processus de développement de jeux sérieux en RV

Le processus que nous avons suivi pour le développement de nos jeux sérieux en RV immersive comporte différentes phases tirées du modèle de l'AVP (Rocque *et al.*, 1998), mais précisées et adaptées à l'aide des autres modèles retenus. Chacune de ces phases (voir figure 6) a donné lieu à un résultat. Le présent article présente le processus retenu ainsi que le résultat de chacune de ses phases.



Figure 6

Modèle de développement de jeux sérieux en RV immersive



Note. © Auteurs.



© Auteurs. Cette œuvre est distribuée sous licence [Creative Commons 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



1. Préconception

Conformément au modèle d'AVP (Rocque *et al.*, 1998), le processus que nous proposons a débuté par une phase de préconception où nous avons fait l'analyse des besoins en ce qui a trait à des applications éducatives en RV pour apprendre des concepts scientifiques ainsi qu'une recension de la littérature portant sur les caractéristiques et avantages de la RV immersive.

Une analyse des besoins des enseignants a été faite via un questionnaire auquel douze enseignants de sciences ont répondu. Les enseignants ont alors été questionnés quant aux concepts qu'ils considéraient pertinents de traiter en RV en considérant les compétences et les objectifs de leurs cours. Nous avons aussi réuni plusieurs enseignants agissant comme spécialistes de contenu des trois disciplines touchées afin de discuter des besoins des enseignants et de leurs étudiants pour une application éducative de réalité virtuelle.

Le questionnaire ainsi que les rencontres disciplinaires ont permis de mettre en évidence certaines difficultés d'apprentissage récurrentes dans chacune des disciplines, desquelles découlaient certains thèmes pertinents à traiter en réalité virtuelle (tableau 1) ainsi que des objectifs pédagogiques que cette technologie pourrait permettre d'atteindre.

Tableau 1

Résultats de l'analyse des besoins réalisée auprès des enseignants pour les thèmes pertinents à traiter en RV

Discipline	Thèmes pertinents à traiter en RV
Biologie	Synthèse des protéines
	Respiration cellulaire
	Photosynthèse
Chimie	Géométries moléculaires
	Hybridations
	Isomérisation
	Réactions en chimie organique
Physique	Champs électriques
	Champs magnétiques
	Concepts de physique moderne

Parallèlement, une première recension des écrits a été faite dans le but de faire l'état de la question des caractéristiques et avantages de la RV immersive. Afin de nous orienter dans l'approche de développement à privilégier pour nos jeux sérieux en RV, une deuxième recension des écrits a porté sur des modèles utilisés pour le développement. Les résultats de ces recensions ont été présentés dans le cadre conceptuel.



2. Analyse fonctionnelle

Dans notre proposition, la phase d'analyse fonctionnelle vise à établir une liste de critères de qualité des applications d'apprentissage des sciences en RV immersive alors que dans l'AVP (Rocque *et al.* 1998), on cherche à établir les fonctions d'un produit pédagogique.

Pour établir cette liste de critères de qualité, une équipe diversifiée formée d'enseignants de sciences, de chercheurs en technologies éducatives, d'un conseiller pédagogique et d'étudiants en sciences a procédé à une analyse individuelle d'une vingtaine de produits comparables (des applications éducatives existantes en RV immersive en sciences fonctionnant dans différents casques). Alors que notre recension des écrits a permis d'établir une première version de la liste, des discussions itératives des membres du comité à propos des critères favorisant une expérience d'apprentissage optimale en réalité virtuelle immersive l'ont complétée. En effet, suivant la technique du groupe nominal, les membres ont pu proposer des modifications en fonction des différentes applications évaluées et voter à différentes reprises afin d'en arriver éventuellement à un consensus sur une liste comprenant vingt-cinq critères favorisant une expérience d'apprentissage positive avec la réalité virtuelle regroupés en trois catégories principales, soit les critères liés aux aspects pédagogiques et didactiques, les critères liés à la réalité virtuelle immersive et les critères liés au jeu (tableau 2).

Tableau 2

Critères de qualité d'une application éducative en RV immersive

Critères liés aux aspects pédagogiques et didactiques
Pertinence pédagogique
Caractère adéquat de la scénarisation pédagogique
Présence d'une contextualisation des apprentissages
Présence d'apprentissage actif
Degré d'ouverture (liberté)
Présence d'éléments motivants et engageants
Adéquation du rythme
Présence de formes de représentation des concepts justes et pertinentes
Adéquation du niveau de formulation
Clarté des explications
Pertinence des exemples
Critères liés à réalité virtuelle immersive
Utilisation adéquate du potentiel de la RVI
Possibilité de vivre des situations ou réalités rares, voire difficilement ou pas du tout accessibles
Facilité d'utilisation
Guidance suffisante
Degré d'interactivité
Degré d'immersion et de présence physique
Présence sociale
Vraisemblance de l'environnement
Qualité audio



Critères liés au jeu

Présence d'éléments de ludification

Degré de *fun* (plaisir)

Adéquation du niveau de défi

Autres critères liés aux simulations

Fidélité cognitive (d'une simulation)

Suscite l'empathie

3. Conception : design (idéation), développement et implantation

La phase de conception du processus que nous proposons vient apporter des précisions à celle du modèle d'analyse de la valeur pédagogique de Rocque *et al.* (1998) en y ajoutant des phases de design (idéation), de développement, d'implantation et d'évaluation.

Suivant les conseils de notre partenaire Affordance Studio, nous avons créé une entreprise-école formée d'un étudiant-designer de jeu, d'un étudiant-programmeur/intégrateur et d'un étudiant-artiste généraliste en vue du développement des jeux sérieux. Un autre membre, responsable de la musique et des sons, s'est joint à l'équipe ensuite. L'équipe travaillait sous la supervision d'une enseignante en sciences responsable du projet. Le développement de l'application s'est fait dans un projet collaboratif Unity.

A) IDÉATION DISCIPLINAIRE COLLABORATIVE

À partir des besoins identifiés dans le sondage par questionnaire et des critères de qualité établis avec l'étape d'analyse fonctionnelle, de manière apparentée à ce qui est proposé dans le premier type de *brainstorming* dans l'approche de l'Université Ryerson, nous avons tenu des séances d'idéation disciplinaires collaboratives réunissant des experts de contenus (enseignants de la discipline) ainsi qu'un spécialiste en scénarisation d'applications RV et des spécialistes en technologies éducatives. Ces séances, qui consistaient en des *brainstormings* sur des tableaux blancs collaboratifs, visaient à faire émerger un grand nombre de concepts pour les jeux sérieux. Ces concepts étaient, en fait, des idées générales pouvant être à la base de nos jeux. Les participants devaient émettre des idées de concepts, commenter et enrichir les concepts évoqués par les autres.

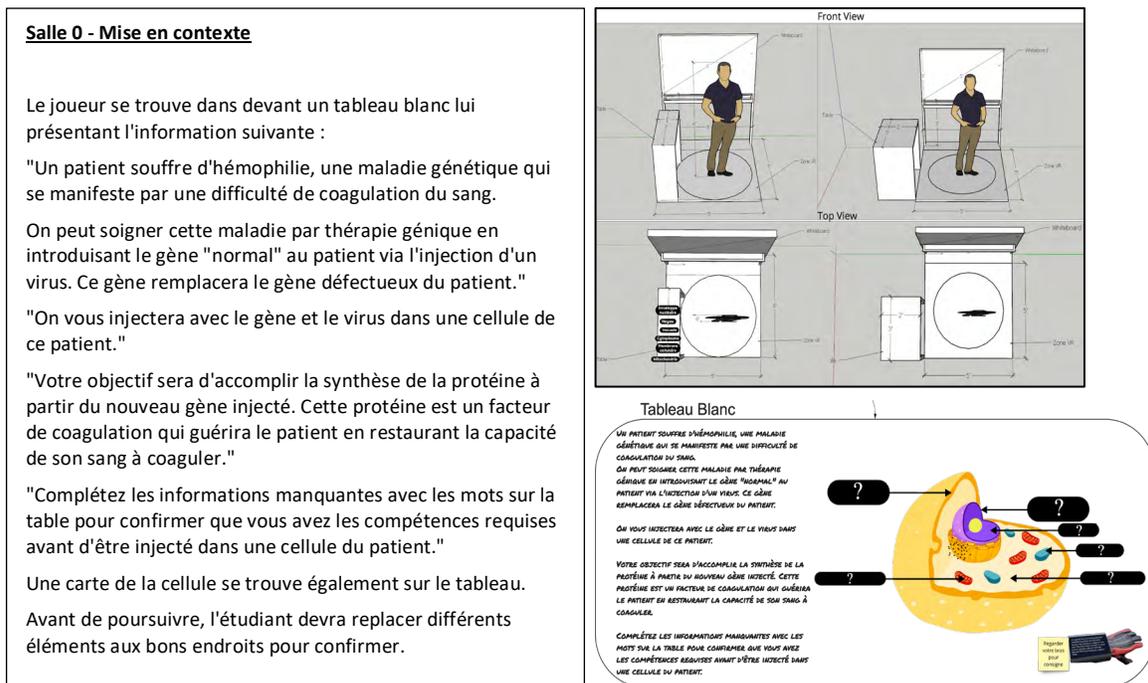
Ensuite, parmi l'ensemble des concepts issus des *brainstormings*, nous en avons choisi trois par discipline pour lesquels nous avons élaboré un macroscénario. Les macroscénarios impliquaient de se pencher sur cinq éléments, c'est-à-dire d'établir des objectifs pédagogiques (en se questionnant quant à l'utilité de la RV pour l'atteinte de ces objectifs comme suggéré par Vergara *et al.* (2017)), de réfléchir relativement l'utilité et la pertinence pédagogique de traiter ce thème dans une application en lien, notamment, avec des difficultés éprouvées par les étudiants, de penser à des éléments de ludification qui pourraient être ajoutés, de réfléchir aux enjeux de faisabilité technique et de se questionner sur la pertinence de la RV pour ce concept (par une exploitation des opportunités et avantages qu'offre la RV). Les différents experts présents dans les séances d'idéation ont ensuite évalué de manière quantitative chacun de ces cinq éléments pour les trois macroscénarios de chaque discipline afin de choisir le concept qui sera scénarisé avant de passer en phase de développement.



Après avoir choisi le concept du jeu pour chacune des disciplines, nous avons réalisé une scénarisation détaillée sous la forme de scénarimages. La scénarisation détaillée, interactive, collaborative et itérative a impliqué de décrire et d'illustrer les choix faits en ce qui a trait aux objectifs pédagogiques, aux contenus théoriques ou pratiques abordés, à l'histoire du jeu, aux mécaniques de jeu qui seraient intégrées (Ryerson University, 2018), aux interactions qu'il serait nécessaire de programmer ainsi qu'aux modèles 3D et aux animations à produire. Les scénarimages, réalisés par le designer de jeu, sont essentiels afin que le programmeur, l'artiste généraliste ainsi que le spécialiste en sons et musique puissent bien comprendre leurs tâches. La figure 7 illustre une partie du scénarimage du jeu de biologie.

Figure 7

Illustration d'une partie du scénarimage pour le design du jeu de biologie



Note. © Auteurs.

B) DÉVELOPPEMENT

À partir des informations contenues dans le scénarimage réalisé par le designer du jeu, les étudiants-développeurs ont travaillé à chercher et à sélectionner les *assets* utiles pour le jeu. Les *assets* sont des éléments préconçus vendus sur Internet tels que des objets, des sons, des scripts ou des animations qui sont utilisés dans le produit final. Ils permettent de gagner beaucoup de temps lors du développement.

L'étudiant-programmeur a codé, entre autres, des interactions de type prendre, placer, associer et se téléporter, ainsi que des rétroactions (qui sont les conséquences des différentes interactions). Il utilisait alors des formes grossières pour ces interactions et rétroactions. L'étudiant-artiste généraliste devait ensuite remplacer ces formes grossières par des modèles (souvent animés) qu'il concevait avec le logiciel Blender lorsqu'il n'arrivait pas à les trouver dans les *assets* disponibles. Cet étudiant devait fournir tous les éléments visuels requis (objets, environnements, éclairage) pour modéliser le monde virtuel du jeu.



La musique et les effets sonores ont ensuite été conçus. Les éléments visuels et sonores ont enfin été intégrés dans le projet Unity. L'étudiant-designer de jeu était en constante interaction avec les autres membres de l'équipe afin de s'assurer que le design était compris et suivi, et de faire des ajustements au scénarimage lorsque nécessaire. L'enseignante de sciences responsable du projet voyait continuellement à superviser l'avancement du travail et à s'assurer de l'équilibre entre les aspects jeu et l'apprentissage.

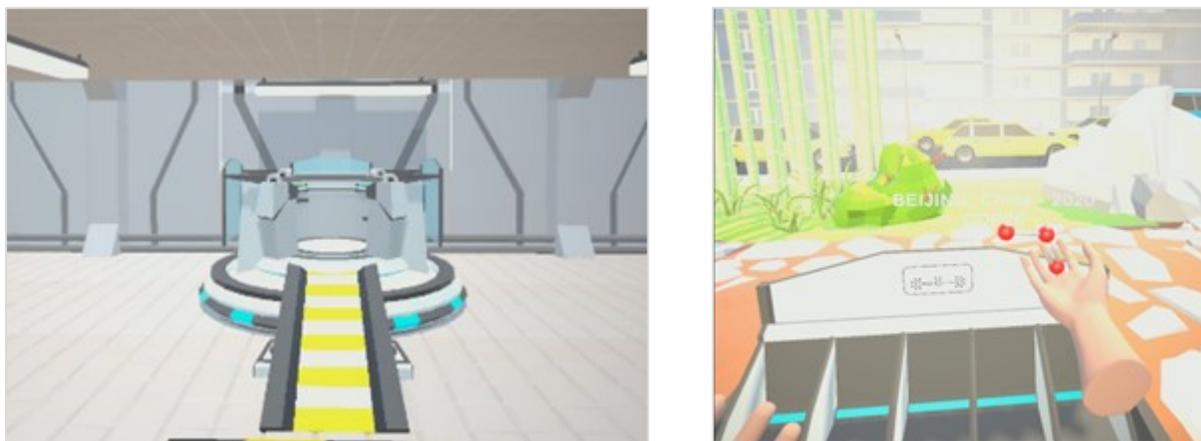
Par ailleurs, des prototypes du jeu ont été testés rapidement dans le développement par des enseignants et des étudiants. Ces tests visaient à régler les problèmes techniques, mais aussi à faire des améliorations relativement aux aspects ludiques et éducatifs du jeu.

Un prototype final a été produit pour les disciplines de biologie et de chimie, le prototype pour la discipline de physique étant en cours de finalisation. Les prototypes sont des jeux sérieux de réalité virtuelle qui traitent de concepts à l'étude dans des cours du programme en sciences de la nature. Les figures 8, 9 et 10 illustrent des captures d'écran des jeux sérieux en RV.

En chimie, les étudiants sont invités à embarquer à bord d'une machine de téléportation temporelle et spatiale afin de résoudre des énigmes sur des molécules impliquées dans de véritables catastrophes écologiques. Ce jeu vise la consolidation des apprentissages des étudiants relativement aux concepts de géométrie moléculaire, d'angle de liaison et d'hybridation des orbitales. Ce choix, s'alignant aux thèmes ressortis par les enseignants de chimie, s'explique par les difficultés vécues par les étudiants à se représenter les molécules complexes en trois dimensions.

Figure 8

Illustrations de la machine de téléportation temporelle, spatiale et numérique et de l'analyse de l'ozone de l'application Mission Molécules VR développée par notre équipe



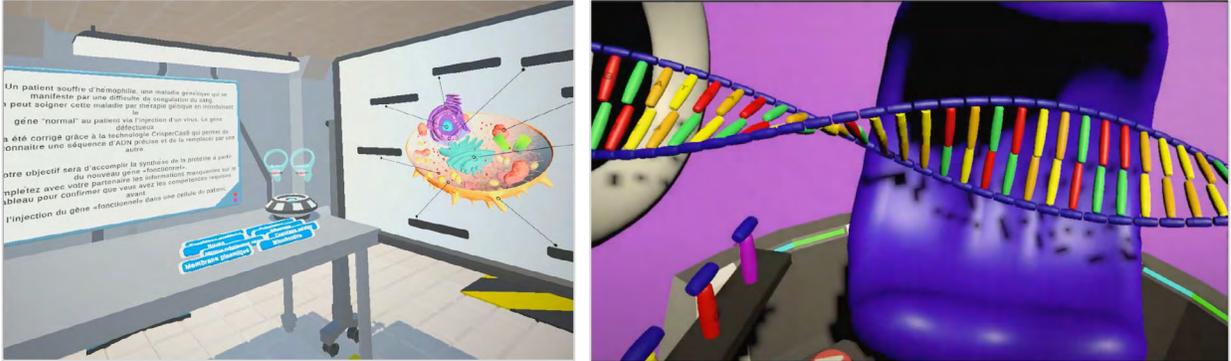
Note. © Auteurs. L'ozone est une des molécules responsables du nuage de pollution à Beijing.

En biologie, l'application consiste en un jeu d'évasion où le joueur est miniaturisé et injecté dans une cellule pour guérir un patient atteint d'une maladie génétique. Il devra synthétiser la protéine du gène injecté pour guérir le patient. La synthèse des protéines est un thème qui est ressorti de l'analyse des besoins réalisée auprès des enseignants de biologie. L'objectif pédagogique est que les étudiants puissent être immergés dans une cellule et puissent s'approprier les processus impliqués dans la synthèse des protéines en les réalisant eux-mêmes.



Figure 9

Illustrations de la contextualisation ainsi que de la transcription à réaliser dans le noyau dans l'application Mission protéine VR développée par notre équipe



Note. © Auteurs.

Le jeu en physique propose une mission spatiale où les étudiants utiliseront des concepts de mécanique afin de faire décoller une fusée pour se rendre dans une station spatiale où ils observeront des étoiles et découvriront ainsi le mystère de la matière sombre. L'objectif pédagogique est de placer les étudiants au cœur d'une mission spatiale pendant laquelle ils contextualiseront les concepts de conservation d'énergie et de dynamique du mouvement circulaire.

Figure 10

Illustrations de la station de lancement d'une fusée qui amènera les étudiants dans une station spatiale dans l'application Mission Matière sombre VR développée par notre équipe



Note. © Auteurs.

Nous sommes d'avis que ces développements respectent la majorité des critères de qualité établis (voir tableau 2) : pertinence pédagogique, présence d'une contextualisation des apprentissages, présence d'apprentissage actif, présence de formes de représentation des concepts justes et pertinentes, adéquation du niveau de formulation, utilisation adéquate du potentiel de la RVI, vraisemblance de l'environnement, présence d'éléments de ludification et adéquation du niveau de défi.



C) IMPLANTATION EN CLASSE ET ÉVALUATION

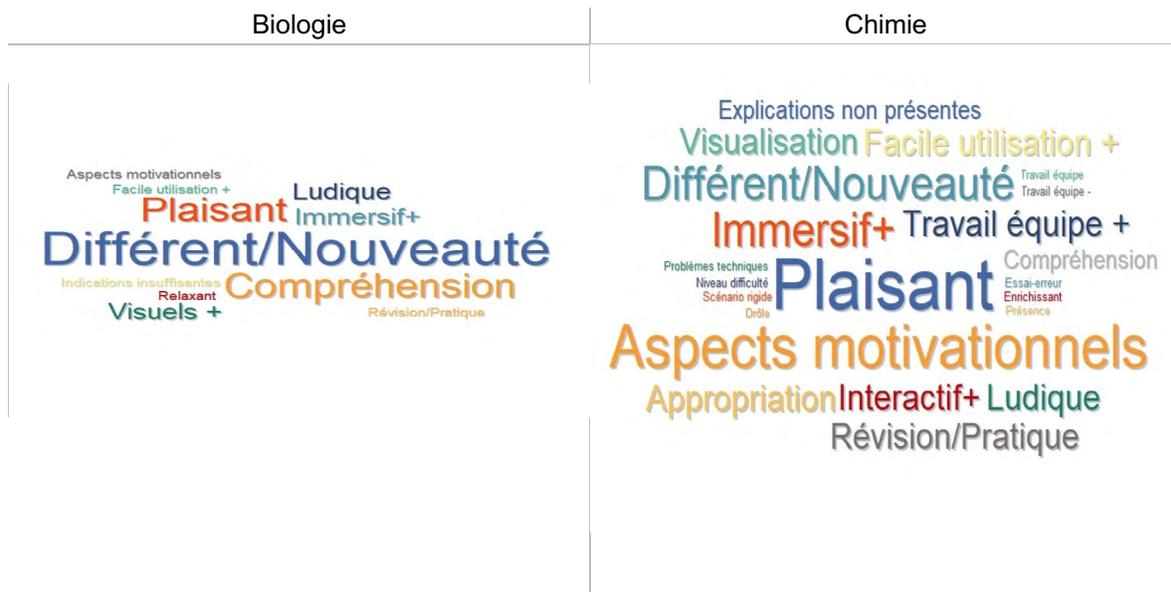
Une fois le développement terminé, les applications ont été implantées dans des cours du programme d'études collégiales en sciences de la nature. Les enseignants devaient intégrer les jeux sérieux dans un scénario pédagogique qu'ils devaient élaborer selon le modèle de scénarisation pédagogique intégrant la réalité virtuelle retenu dans les travaux de « auteur » (soumis).

L'implantation implique une planification minutieuse des aspects matériels et techniques, des aspects liés à la familiarisation avec cette nouvelle technologie ainsi que des aspects liés à l'encadrement des étudiants durant leur expérimentation. L'annexe 1 présente les aspects à considérer pour le déploiement d'activités en réalité virtuelle en classe.

Les résultats des entrevues montrent que l'expérience des étudiants, généralement positive, a été marquée par les aspects en lien avec la nouveauté, la motivation, le côté plaisant du jeu et des aspects liés à l'apprentissage (compréhension et visualisation) (figure 10). Les principales sources de difficultés étaient liées aux problèmes techniques du jeu, à la familiarisation avec l'équipement et l'environnement RV, et au manque de maîtrise de certaines connaissances théoriques disciplinaires.

Figure 10

Nuages de mots représentant les thèmes abordés par les étudiants pour décrire leur expérience d'apprentissage avec les jeux sérieux en RV immersive



Note. © Auteurs.



Discussion et conclusion

Les résultats préliminaires nous indiquent que l'expérience des jeux sérieux en réalité virtuelle est plaisante et engageante pour les étudiants, et qu'elle leur permet d'apprendre (comprendre ou visualiser) tout en s'amusant. Par ailleurs, les résultats qualitatifs recueillis sur l'expérience d'apprentissage des étudiants sont cohérents avec les besoins exprimés par les enseignants ainsi qu'avec les intentions de développement des jeux. En effet, outre les aspects ludiques et de nouveauté mentionnés par les deux groupes, les étudiants de chimie ont apprécié la visualisation des molécules en 3D, alors que les étudiants de biologie semblent avoir mieux compris la synthèse des protéines grâce à cette expédition dans l'univers de la cellule.

Les jeux développés ont misé sur les critères de qualité mis en évidence durant la phase de préconception, chacun des critères différents, en lien avec le besoin pédagogique mis en évidence. La grille des critères de qualité fournit donc de bonnes orientations générales pour le développement d'applications RV. Elle s'avère aussi très utile pour la sélection ou l'évaluation d'applications existantes.

Le développement d'un jeu sérieux en RV immersive représente une entreprise considérable présentant de nombreux défis logistiques, techniques et autres, qui a rarement été réalisée dans le milieu collégial québécois. L'équipe a largement sous-estimé la complexité de ce processus, ce qui s'est traduit par une durée du projet beaucoup plus longue que celle initialement prévue. L'approche que nous avons déployée, fondée sur la démarche de l'AVP, mais qui a été aussi modifiée à l'aide de plusieurs autres modèles de développement, s'est avérée extrêmement utile pour le développement de nos jeux sérieux. Ce processus, présenté à la figure 6, peut servir à quiconque souhaite se lancer dans une initiative de conception de jeux sérieux en RV immersive, un domaine où il existe peu de guides pour les non-spécialistes issus du milieu de l'éducation.

Si les jeux sérieux en RV permettent de miser sur l'aspect ludique, la motivation et l'apprentissage, plusieurs conditions sont requises pour qu'ils puissent être utilisés efficacement. La mise en œuvre de notre processus nous amène à mettre de l'avant six principes utiles à tout projet ayant des objectifs similaires.

1. Un processus d'idéation et de scénarisation misant sur les besoins des enseignants et des étudiants et respectant les critères de qualité d'une application éducative en RVI doit être mis en place.
2. Une idéation collaborative et itérative, impliquant des échanges continus entre les spécialistes de contenu et le designer du jeu et, à différents niveaux, les autres acteurs responsables du développement, doit avoir lieu tout au long de la réalisation.
3. La conception (le développement) devrait réunir des acteurs ayant des compétences clés en design de jeu (le designer), en programmation (le programmeur) ainsi qu'en modélisation et en animation 3D (l'artiste généraliste). Elle devrait aussi inclure idéalement un artiste sons et musique ainsi qu'un lien constant avec un expert de la discipline ainsi qu'avec le gestionnaire de projet.
4. Le développement collaboratif et itératif d'un scénarimage très détaillé est la pierre angulaire du succès du processus de développement.



5. Une approche de prototypage rapide permettant d'effectuer rapidement plusieurs tests sur l'application impliquant notamment les experts disciplinaires doit être déployée afin d'obtenir une application ne comportant pas d'erreurs conceptuelles et sans bogues majeurs.
6. L'implantation en classe devrait impliquer différents acteurs de l'établissement (TI, enseignants, CP, direction) et être planifiée soigneusement (voir annexe A).

Ces principes et le processus de développement présenté constituent un des résultats les plus importants de notre démarche et seront utiles à quiconque voulant réaliser des jeux sérieux en RV ou d'autres types d'applications RV, par exemple avec la vidéo 360°.

Bien que nous ayons cherché à nous appuyer sur une démarche scientifique et rigoureuse, notre projet demeure une première expérimentation d'un modèle de recherche-développement hybride, à une échelle relativement petite, et les résultats des expérimentations en classe ne sont pas encore complètement analysés.

Enfin, cette expérience étant somme toute un succès, nous prévoyons une phase 2 où nous peaufinerons les jeux sérieux déjà réalisés, et une phase 3 où nous pourrions en concevoir d'autres, notamment à l'intérieur d'une collaboration interétablissements et interordres, et avec la participation de partenaires de l'industrie.

Liste des références

- Alvarez, M. G. (2007). *Du jeu au serious game. Approches culturelle, pragmatique et formelle* [thèse de doctorat, Université Toulouse]. http://ja.games.free.fr/These_SeriousGames/TheseSeriousGames.pdf
- Barmby, 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/10.1080/09500690701344966>
- Beichner, R. J., Saul, J. M., Allain, R. J., Deardorff, D. L., et Abbott, D. S. (2000). *Introduction to SCALE-UP: Student-Centered Activities for Large Enrollment University Physics*. (Research report). <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED459062.pdf>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer Science & Business Media.
- 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/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- 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 of the United States of America*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Freina, L., et Ott, M. (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 1, 133. <https://www.itd.cnr.it/download/eLSE%202015%20Freina%20Ott%20Paper.pdf>
- 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/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- 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>



- Loiselle, J., et Harvey, S. (2008). La recherche développement en éducation : Fondements, apports et limites. *Recherches qualitatives*, 27(1), 40-59.
- Mütterlein, J. (2018). The Three Pillars of Virtual Reality? Investigating the Roles of Immersion, Presence, and Interactivity. *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 9. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.174>
- Nye, B. D., et Silverman, B. G. (2012). Affordance. In N. M. Seel (dir.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 179-183). New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_369
- Oh, K., et Nussli, N. (2014). Teacher training in the use of a three-dimensional immersive virtual world: Building understanding through first-hand experiences. *Journal of Teaching and Learning with Technology*, 3(1), 33-58. <https://doi.org/10.14434/jotlt.v3n1.3956>
- Pellas, N., Dengel, A., et Christopoulos, A. (2020). A Scoping Review of Immersive Virtual Reality in STEM Education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1-14. <https://doi.org/10.1109/TLT.2020.3019405>
- Poellhuber, B. (2017). Une réflexion et une expérimentation à partir du contexte des enseignants concepteurs de leurs propres vidéos pédagogiques. *Distances et médiations des savoirs*. 2017(20). <https://doi.org/10.4000/dms.2012>
- Potvin, P., et Hasni, A. (2014). 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/10.1007/s10956-014-9512-x>
- Rocque, S., Langevin, J., et Riopel, D. (1998). L'analyse de la valeur pédagogique au Canada : Méthodologie de développement de produits pédagogiques. *La valeur des produits, procédés et services*, 76, 6-11.
- Rosenfield, S., 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.
- Ryerson University. (2018). *The Art of Serious Game Design*. Toronto Metropolitan University Pressbooks. <https://pressbooks.library.torontomu.ca/guide/>. Sous licence CC BY-NC-SA.
- Shin, D.-H. (2017). The role of affordance in the experience of virtual reality learning: Technological and affective affordances in virtual reality, Elsevier Enhanced Reader. *Telematics and Informatics*, 34(8), 1828-1838. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.05.013>
- Slater, M., et Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Sherman, W. R., et Craig, A. B. (2018). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann.
- Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>
- Taber, K. S. (2001). Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123. <https://doi.org/10.1039/b1rp90014e>
- Vergara, D., Rubio, M. P., et Lorenzo, M. (2017). On the Design of Virtual Reality Learning Environments in Engineering. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/mti1020011>
- Winn, W. (1993). *A conceptual basis for educational applications of virtual reality*. (Technical Publication R-93-9; Human Interface Technology Laboratory of the Washington Technology Center). University of Washington.
- 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/10.1162/105474698565686>



Annexes

ANNEXE A

Considérations techniques pour le déploiement d'activités en réalité virtuelle en classe

- Faire l'achat d'une flotte de x casques. Nous avons opté pour le modèle Oculus Quest 2 à raison d'un casque par équipe de deux étudiants.
- Configuration de x courriels (institutionnels idéalement) qui serviront à la configuration des comptes Meta.
- Configuration de x comptes Meta.
- Configuration des nouveaux casques (langue, wifi, appairage avec compte Meta).
- Installation de l'application Oculus sur des iPad ou des téléphones en vue de la mise en miroir si un scénario de travail collaboratif est retenu. Chaque iPad ou téléphone doit être apparié à un casque précis. Il est aussi possible de faire la mise en miroir avec un ordinateur (www.oculus.com/casting), par exemple dans une classe active. S'assurer avec les TI que le wifi utilisé permet la mise en miroir des casques.
- Achat (si ce sont des jeux payants) et installation des jeux dans tous les casques.
- Prévoir un local dépourvu de mobilier suffisamment grand pour accueillir x zones de jeu et binômes (minimalement 5 pi x 7 pi). Délimiter les zones de jeu et du binôme avec du ruban adhésif. Prévoir un espace de circulation pour l'enseignant et les assistants.
- Prévoir une période de familiarisation des étudiants avec cette technologie particulière. Nous avons conçu un guide de familiarisation expliquant comment ouvrir le casque et l'ajuster, comment faire la mise en miroir et comment démarrer le jeu.
- Prévoir un mécanisme afin que les tablettes et les casques soient bien chargés entre chaque utilisation.
- Prévoir un grand nombre de personnes qualifiées afin d'encadrer les étudiants sur les plans technologiques et conceptuels. Ces personnes doivent être en mesure d'assister les étudiants avec le démarrage du casque, le choix de l'application et la mise en miroir au début du jeu. Par la suite, l'assistance peut porter sur un dépannage technique, mais idéalement, les assistants connaissent bien le contenu du jeu pour pouvoir répondre aux questions de contenu difficiles pour les étudiants, ou au moins les orienter vers des pistes.

Remerciements

Ce projet a été soutenu financièrement par le programme NovaScience du Ministère de l'Économie et de l'Innovation.

Nous tenons à remercier nos partenaires Affordance Studio, Brainiak et l'Université de Montréal pour leur précieux soutien.