



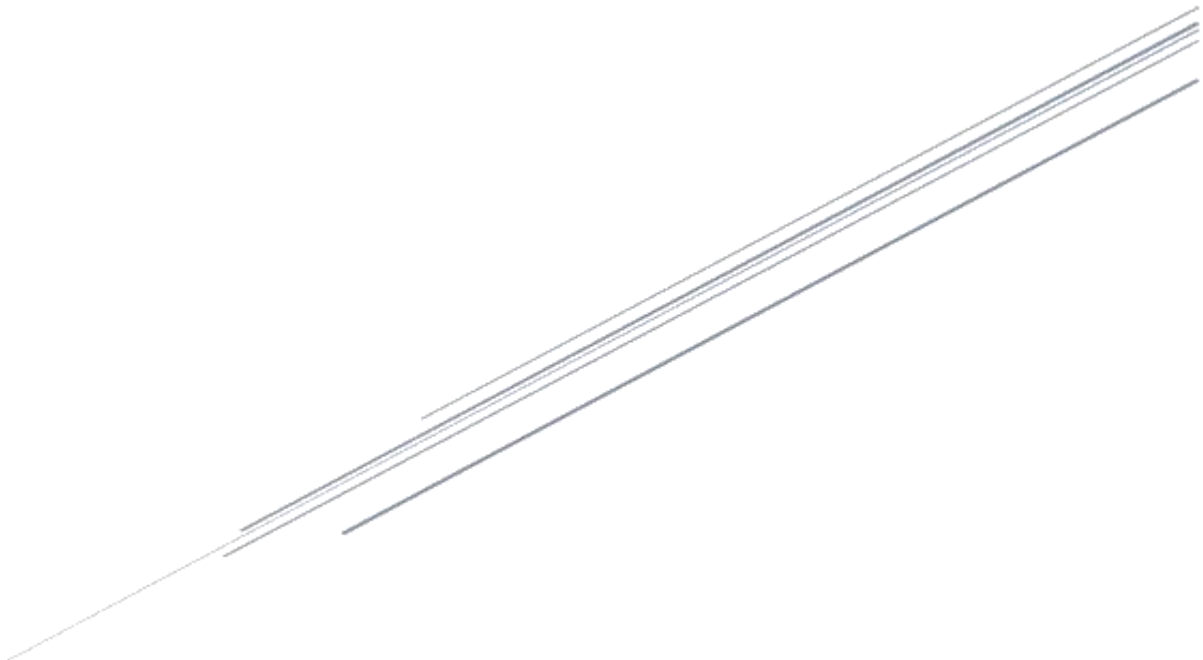
**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

**FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE  
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION**  
Technologies de formation  
et d'apprentissage (TECFA)

Master of Science in Learning and Teaching Technologies

# L'IMPACT DE L'IMMERSION VISUELLE DANS LA COMPRÉHENSION D'UN CONCEPT ABSTRAIT

Arnaud Ricci



Directeur de recherche : Nicolas Szilas  
Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Novembre 2016



## ***Remerciements***

Je souhaite remercier mon directeur de mémoire Monsieur Nicolas Szilas pour ses corrections et son aide apportée lors de la réalisation de ce mémoire. Je souhaite aussi remercier tous les candidats qui ont participé à mon étude de manière bénévole ainsi que mes professeurs du master qui ont dispensé des cours théoriques qui m'ont permis de réaliser ce mémoire. Je souhaite aussi avoir une pensée pour mes parents qui m'ont soutenu pendant toute ma scolarité.

# Table des matières

Abstract .....	3
Résumé.....	3
1. Introduction.....	4
2. Problématique.....	6
3. Cadre théorique.....	7
3.1 Qu'est-ce qu'est la réalité virtuelle ?.....	7
3.2 L'immersion et le sentiment de présence .....	8
3.3 La réalité virtuelle dans l'enseignement .....	9
3.4 Le rôle du sentiment de présence dans l'apprentissage.....	11
3.5 L'animation interactive pour apprendre .....	11
4. Hypothèse générale .....	13
5. Hypothèses opérationnelles.....	13
6. Description du matériel expérimental .....	14
6.1 Bases théoriques pour la construction de l'environnement virtuel.....	14
6.1.1 Quand est-ce qu'on doit utiliser la réalité virtuelle ?.....	14
6.1.2 Facteurs théoriques et techniques à prendre en compte.....	15
6.2 Outils utilisés .....	16
6.2.1 Illustrations des outils de développement.....	16
6.3 Présentation de l'environnement 3D « Cryptarn ».....	17
6.3.1 Scénario de l'environnement 3D.....	17
6.3.2 Description de l'environnement.....	17
6.3.3 Données techniques.....	17
6.3.4 Images d'illustration de l'environnement 3D.....	18
6.3.5 Vidéo de l'explication de la partie symétrique.....	20
7. Méthodologie .....	21
7.1 Participants.....	21
7.2 Matériel .....	21
7.3 Procédure .....	22
7.4 Les variables .....	22
8. Résultats .....	24
9. Discussion des résultats .....	30
10. Conclusion .....	32
11. Bibliographie.....	33
Annexes .....	36

## **Abstract**

The objective of this research is to check if the last generation visual immersion of virtual reality headset provides a better understanding of an abstract concept compared to viewing on a computer screen.

Keywords : virtual reality, visual immersion, understanding, education

## **Résumé**

L'objectif de cette recherche est de tester l'hypothèse selon laquelle l'immersion visuelle permise grâce à un casque de réalité virtuelle de dernière génération permet une meilleure compréhension d'un concept abstrait par rapport au visionnement sur un simple écran d'ordinateur.

Mots clés : Réalité virtuelle, immersion visuelle, compréhension, enseignement

# 1. Introduction

Le sujet de l'étude va porter sur l'immersion visuelle que permet la réalité virtuelle et son impact sur la compréhension d'un domaine abstrait tel que la cryptographie symétrique et asymétrique pour des utilisateurs non-initiés au domaine de la sécurité informatique.

Actuellement, les dispositifs de réalité virtuelle commencent à se démocratiser au sein du grand public avec la commercialisation récente de casques de réalité virtuelle comme l'Oculus Rift, le HTC Vive ou le Gear VR, ce dernier ne coûtant qu'une centaine de dollars. La démocratisation de ces casques permet des expériences visuellement très immersives avec des interactions plus ou moins naturelles dans l'environnement virtuel grâce à différents types de contrôleurs.

La réalité virtuelle dans l'enseignement est un sujet pertinent puisque comme le souligne Winn (1993), l'immersion dans un monde virtuel permet de construire sa connaissance à partir d'une expérience que nous vivons et non pas à partir de descriptions de cette expérience comme avec d'autres médias et elle permet aussi, d'après son constat, de s'affranchir de la barrière qu'il y a entre les êtres humains et la machine. Selon lui, cela permet de se rapprocher des conditions du monde réel. Cette étude se penchera uniquement sur le rôle que joue l'immersion visuelle sur la compréhension en mettant de côté l'interaction, si ce n'est celle permettant de mouvoir son regard à 360°, afin de vérifier si seul l'aspect visuel immersif a un impact sur cette compréhension. Les effets de la réalité virtuelle dans de nombreux domaines d'apprentissage n'ont pas été étudiés sous prétexte que la technologie et le développement étaient trop chers pour avoir un intérêt et un apport suffisamment pertinent pour être utilisé dans l'enseignement sachant que ces domaines d'apprentissage pouvaient aussi être très bien expliqués avec des technologies moins coûteuses. C'était peut-être vrai il y a une dizaine d'années mais dans le contexte technologique actuel, c'est-à-dire un accès généralisé à la réalité virtuelle pour le grand public, cela peut être remis en cause. Certains auteurs comme Jelfs, A., & Whitelock, D. (2000), expliquent que la réalité virtuelle offre des opportunités en ce qui concerne la visualisation de concepts. D'autres auteurs, comme Mantovani, F., & Castelnuovo, G. (2003), expliquent que la réalité virtuelle a du potentiel en ce qui concerne la visualisation et la gestion d'informations complexes dans l'espace. Ils expliquent aussi que la réalité virtuelle se prête à n'importe quel contexte d'apprentissage puisque la réalité virtuelle permet d'utiliser tous les sens que l'on utilise dans la réalité. C'est pourquoi dans l'étude, il a été choisi de s'intéresser à ce que peut apporter l'immersion visuelle sur la compréhension d'un concept abstrait qui peut aussi être présenté sans l'immersion visuelle.

Il est vrai que de nombreuses études ont étudié les effets de la réalité virtuelle dans l'apprentissage en analysant l'impact que l'immersion et l'interaction pouvait en jouer dans celui-ci. Beaucoup de chercheurs, comme B. Arnaldi, P. Fuchs et P. Guitton ayant participé à la rédaction d'un traité de la réalité virtuelle (2006) et D. D'huart, G. Michel (2006), s'accordent à dire que la réalité virtuelle ne peut pas être vue sans les composantes

d'immersion et d'interaction. En effet, selon eux, et à juste titre, la réalité virtuelle ne peut pas être uniquement apparentée au fait d'avoir un écran mis devant les yeux. C'est-à-dire que la réalité virtuelle n'a pas pour unique composante le fait d'être immergé visuellement dans l'environnement 3D. La technologie actuelle permet d'être proche de la réalité virtuelle telle qu'elle est définie par ces chercheurs puisqu'elle permet une interaction avec l'environnement virtuel tout en étant immergé comme dans la réalité du moins avec les mouvements de la tête de l'utilisateur. C'est pourquoi, très peu d'études ont analysé uniquement l'aspect de l'immersion visuelle dans l'apprentissage avec une interaction minimum comme celle de la tête. En effet, puisque la technologie n'était pas aussi avancée qu'aujourd'hui et que la plupart des expériences faites dans le passé nécessitait des interactions avec les mains puisque c'était très souvent des simulations de situations réelles. Comme il l'a été dit, la technologie était bien trop onéreuse pour avoir un intérêt dans l'explication de concepts abstraits nécessitant un minimum d'interaction. Il sera donc intéressant de voir si uniquement l'aspect d'immersion visuelle avec l'interaction de la tête sans l'interaction du reste du corps peut aussi jouer un rôle sur la compréhension notamment parce que qu'un concept théorique pourrait être expliqué sans que l'interaction du reste du corps ne soit nécessaire. Actuellement il existe déjà plusieurs vidéos et reportages qui sont visuellement immersifs et dans lesquels il n'y a pas forcément d'interactions complexes (lesnumeriques.com, 2015 et lemonde.fr, 2015). Pour l'étude, un environnement virtuel va être développé permettant ainsi une immersion visuelle totale dans l'environnement virtuel 3D tout en permettant une interaction naturelle de la tête afin que l'immersion visuelle puisse être optimale.

## 2. Problématique

La problématique de l'étude vise à analyser l'impact de deux types de visualisation sur un unique environnement virtuel 3D concernant la compréhension d'un concept abstrait qui est le fonctionnement du cryptage symétrique et asymétrique. Pour définir le terme abstrait tel qu'il a été pensé pour cette étude, on se base sur la définition du site Larousse.fr (dictionnaire en ligne) qui le définit de cette manière : « qui est difficile à comprendre par manque de référence à la réalité concrète ». Le premier type de visualisation est l'immersion visuelle totale permise grâce à un casque de réalité virtuelle avec une interaction minimum qui est la prise en compte des mouvements de la tête. Le deuxième type de visualisation est une immersion visuelle moindre puisqu'on utilise un écran d'ordinateur et une souris pour le déplacement de la caméra. Il faudra ainsi essayer de mesurer si cette immersion visuelle permet ou non une meilleure compréhension.



### 3. Cadre théorique

La recherche porte sur l'impact de l'immersion visuelle et son rôle dans la compréhension. L'étude va donc particulièrement s'intéresser aux recherches qui ont été effectuées dans le domaine de la réalité virtuelle. En effet, l'immersion visuelle est une des composantes clés de la réalité virtuelle puisque le sens de la « vue » est le sens le plus sollicité. Mais, comme le souligne B. Arnaldi, P. Fuchs et P. Guitton dans l'ouvrage « Le traité de la réalité virtuelle volume 1 - L'Homme et l'environnement virtuel » (2006), il serait faux de dire que la réalité virtuelle ne dépend que de l'immersion visuelle et que celle-ci ne peut être obtenue qu'en portant un casque. En effet, pour ces chercheurs la réalité virtuelle est un mélange d'interfaces comportementales, d'interactions en temps réel et une immersion pseudo naturelle permise grâce à des canaux sensori-moteurs. Il est vrai que des travaux ont prouvé que l'utilisation de la réalité virtuelle permet dans certaines circonstances d'obtenir un tout aussi bon apprentissage qu'avec les méthodes d'apprentissage conventionnelles souvent dans des domaines techniques qui demandent d'être proches de la réalité, comme par exemple en médecine, où une étude a montré que les résultats des participants ayant suivi un entraînement en réalité virtuelle obtenaient même de meilleurs résultats (Smith, P. C., & Hamilton, B. K. 2015). Le problème de ces recherches est qu'il est difficile de savoir quel est le rôle de l'immersion visuelle dans la compréhension de domaines qu'on pourrait qualifier d'abstrait. En effet à l'époque, la technologie se révélait coûteuse pendant la réalisation de leurs recherches ce qui ne les a pas forcément poussés à étudier ses impacts dans des domaines qui ne nécessitent pas forcément une interaction proche de celle que l'on peut avoir dans le réel. De plus, la technologie a aussi considérablement évolué depuis quelques années permettant une immersion complètement différente par rapport à celle permise grâce aux technologies des études qui ont été faite dans ce domaine.

#### 3.1 Qu'est-ce qu'est la réalité virtuelle ?

Pour commencer, le terme « réalité virtuelle » va être défini. Il vient du terme anglais « virtual reality » qui a été utilisé pour la première fois par Jaron Lanier dans les années 1980. Il est défini par D. D'huart et G. Michel (2006) comme étant : « *un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et les interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs* ». On utilise l'expression sensori-moteurs pour expliquer que la réalité virtuelle a pour fondement la perception et l'interaction physique de l'utilisateur avec le monde virtuel (D'huart, D. M., 2004).

L'objectif de la réalité virtuelle qui est définie par B. Arnaldi, P. Fuchs et P. Guitton dans l'ouvrage « Le traité de la réalité virtuelle volume 1 - L'Homme et l'environnement virtuel » (2006) est : « *de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel* ». Elle tend à faire oublier à

l'utilisateur l'ordinateur et ses périphériques comme la souris et le clavier afin de reconstituer les conditions d'interaction proches de celles que l'on retrouve dans la réalité, sans pour autant se limiter à reproduire des situations dont leurs éléments proviennent du réel puisqu'elle peut permettre justement de se dégager des limites de la perception humaine. (D. D'huart, G. Michel, 2006).

### **3.2 L'immersion et le sentiment de présence**

La littérature scientifique traitant de la réalité virtuelle dans l'apprentissage va permettre de poser les bases de l'hypothèse générale de recherche. Lorsque l'apprenant regarde une animation, des images ou du texte, il est spectateur, c'est-à-dire qu'il n'interagit pas avec ou de manière très éloignée à l'interaction qu'on peut avoir dans la réalité. Grâce à la réalité virtuelle, celui-ci devient un acteur dans le sens où il perçoit physiquement les objets du monde virtuel et l'interaction est très proche de celle qu'on rencontre dans la réalité. De plus, avec les médias traditionnels cités précédemment, les apprenants peuvent avoir du mal à se construire des représentations mentales, voire des modèles mentaux pertinents des processus en cours (D'huart, D. M., 2004). La réalité virtuelle a la particularité de permettre de représenter des phénomènes qui ne sont pas forcément visibles ou abstraits dans le monde réel de façon crédible puisque l'utilisateur est immergé dans l'environnement virtuel. Cela permet d'enrichir les représentations de la réalité et donc facilite la représentation mentale de ces phénomènes (D'huart, D. M., 2004). Comme l'indiquent B. Arnaldi, P. Fuchs et P. Guitton dans l'ouvrage « Le traité de la réalité virtuelle volume 1 - L'Homme et l'environnement virtuel » (2006), l'interaction joue aussi un rôle primordial quand on parle d'immersion et de réalité virtuelle. Comme certaines études déjà citées ci-dessus l'expliquent, la réalité virtuelle semble faciliter la représentation mentale lors de l'apprentissage mais l'immersion à elle seule permet-elle cela ? En fait, le sentiment de présence qui découle de l'immersion aurait aussi un rôle important dans ce processus. Mais comment peut-on définir l'immersion et le sentiment de présence ? Slater, M. et Wilbur, S. (1997) essayent de répondre à cette question. En effet, selon eux, l'immersion et le sentiment de présence sont deux choses différentes. L'immersion concerne l'aspect technologique, c'est-à-dire dans quelle mesure la technologie est capable de fournir une illusion de réalité pour les sens d'un participant humain. L'immersion peut être une description objective et quantifiable de ce que tout système particulier fournit. Concernant le sentiment de présence, celui-ci est difficilement définissable par une unique définition puisque qu'il est considéré comme un état psychologique dépendant de nombreux facteurs technologiques et psychologiques qui eux dépendent de perspectives individuelles, sociales et culturelles (Mantovani, F., & Castelnuovo, G., 2003). Néanmoins, il peut être vu comme étant un état de conscience (psychologique) du sentiment d'être dans l'environnement virtuel ce qui rejoint ce que dit Jelfs, A., & Whitelock, D. (2000) qui définissent la présence comme étant un sentiment d'être dans le monde virtuel. C'est-à-dire que l'utilisateur est une partie intégrante de celui-ci qui est engendré par sa capacité à percevoir cet environnement virtuel par nos différents sens. Ces notions bien qu'assez anciennes reviennent sur le devant

de la scène avec l'apparition de la nouvelle génération des dispositifs de réalité virtuelle qu'on peut qualifier de grand public. Oculus VR, filiale de Facebook apporte aussi 5 éléments permettant de mieux cerner ce qui permet le sentiment de présence au niveau technologique. Le premier élément selon eux, est le « Tracking », c'est-à-dire tout ce qui concerne le suivi de mouvement, notamment au niveau du suivi de la tête qui doit se faire à 360 degrés. Le deuxième élément est la « latence » qui doit être inférieure à 20 millièmes de seconde. Le troisième est la « low Persistence », c'est-à-dire que, par exemple, le taux de rafraîchissement doit être au minimum à 90 hertz. Le quatrième élément concerne la résolution qui doit être assez grande pour chaque œil pour éviter que l'utilisateur puisse voir les pixels de l'écran ou des écrans qui se trouvent dans le casque. Et le cinquième et dernier élément concerne les optiques qui doivent, par exemple, permettre un champ visuel supérieur à 90 degrés horizontalement (Roadtovr.com, 2014). Michael Abrash qui travaille dans la recherche et le développement chez Valve, société qui propose en partenariat avec le fabricant HTC un casque de réalité virtuelle (HTC Vive) pour concurrencer la version commerciale d'Oculus Rift, est du même avis. Selon lui, les cinq éléments qui ont été énoncés ci-dessus sont essentiels pour avoir une bonne sensation de présence dans un environnement virtuel (Michael Abrash (Valve), 2014). L'audio dans l'environnement virtuel semble aussi jouer un rôle essentiel dans le sentiment de présence. L'étude de Whitelock, D., Romano, D., Jelfs, A., & Brna, P. (2000) démontre que la partie audio joue un rôle important concernant le sentiment de présence et que l'audio permet une meilleure présence. Les fabricants et développeurs actuels ont bien conscience que le son joue un rôle important dans le sentiment de présence car pour pouvoir pleinement tromper notre cerveau il faut que les sons soient restitués dans le monde virtuel un peu comme ils le sont dans la réalité, c'est-à-dire qu'il faut que ceux-ci soient spatialisés (businessinsider.com, 2015).

### ***3.3 La réalité virtuelle dans l'enseignement***

La réalité virtuelle vient déjà compléter les outils pédagogiques dans certains domaines spécifiques qui demandent d'être au plus proche de la réalité comme la médecine. Grâce à ces différents travaux de recherche dont celui de D'huart, D. M. (2004), il a été montré que la réalité virtuelle permet de nouvelles perspectives d'apprentissage notamment par le fait qu'elle place l'apprenant non plus en tant que simple spectateur mais aussi en tant qu'acteur de son apprentissage. Elle permet aussi de limiter, voire de supprimer les risques que pourraient rencontrer l'apprenant s'il s'entraînait dans la réalité et permet aussi d'avoir un environnement précis pouvant être réutilisé à l'infini. Cela lui permet d'y vivre une expérience sensori-motrice rendant son apprentissage proche de ce que l'apprenant pourrait rencontrer dans la réalité. Ce qui lui fait vivre des phénomènes qu'ils seraient impossibles de voir et d'expérimenter dans la réalité et de lui faciliter la représentation mentale dans choses. De plus, cela permet d'avoir un environnement d'apprentissage qui peut être modulable et réutilisé un nombre illimité de fois. Bell, J. T., Fogler, H. S., & Arbor, A. (1995) ont, dans le cadre de recherches sur des applications de réalité virtuelle comme

outil d'enseignement, créé « Vicher ». C'est un module virtuel qui permet d'accéder, afin de tester les différentes expériences dans le domaine de la chimie, dans un espace virtuel de façon à étudier l'impact de la réalité virtuelle dans l'enseignement et d'identifier ses forces et faiblesses. Ils expliquent que de nombreuses études ont montré que les étudiants apprennent mieux quand plusieurs méthodes d'apprentissage leur sont proposées. C'est pourquoi leur étude s'appuie sur le modèle d'apprentissage Felder-Silverman (FSLSM) qui a été créé par Richard Felder et Linda Silverman en 1988 et qui classe les étudiants selon quatre dimensions : les apprenants actifs et réfléchis, les apprenants analyseurs et intuitifs, les apprenants visuels et verbaux et les apprenants séquentiels et globaux (thepeakperformancecenter.com, 2013). Et d'après leur étude, la réalité virtuelle permet de traiter spécifiquement ces quatre types, là où au contraire, certaines méthodes d'apprentissage délaissent certains types d'apprenants. Selon les retours de leur expérience sur « Vicher », une des forces de la réalité virtuelle est qu'elle permet de visualiser des situations ou des concepts qu'il ne serait pas possible de visualiser autrement. Par exemple, dans « Vicher » les étudiants peuvent se déplacer dans le réacteur et observer comment se déroulent les réactions chimiques, chose impossible dans la réalité. Selon eux, une animation peut illustrer ces mécanismes mais la réalité virtuelle fournit aux apprenants un meilleur sentiment de présence. Certains étudiants ont aussi dit avoir mieux compris certaines notions dans la réalité virtuelle. Leur expérience a aussi permis de relever certaines faiblesses de l'utilisation de la réalité virtuelle surtout liées à la technologie de l'époque. En effet, les chercheurs soulèvent plusieurs problèmes comme le frein économique et technologique qui ne leur permettaient pas de proposer une bonne immersion et une 3D complexe. De plus, ils ont rencontré des difficultés pour modéliser certaines parties du monde virtuel puisque celles-ci sont difficilement visibles dans la réalité. Ils relèvent qu'il est aussi très important d'avoir des explications supplémentaires textuelles ou audio à la simulation pour que l'utilisateur comprenne bien ce qu'il expérimente dans le monde virtuel. Et pour finir, selon eux, l'interface est un point critique à ne pas négliger si on veut avoir un monde virtuel efficace pour l'apprentissage. Certaines études comme celle de Gurusamy KS, Aggarwal R, Palanivelu L, Davidson BR. (2009) ont montré que la réalité virtuelle permet de compléter la formation en chirurgie laparoscopique, technique chirurgicale où le chirurgien réalise une opération de l'abdomen par de petites incisions. Selon leurs conclusions, la réalité virtuelle est tout au moins aussi efficace que la formation vidéo. Plus récemment, une expérience a été menée en Irlande, où des élèves, sur une plate-forme nommée MissionV permettant l'apprentissage de la modélisation et de la programmation, ont recréé le monastère de Clonmacnoise et ont ensuite pu l'explorer avec le DK1 d'Oculus. Selon le PDG James Corbette de MissionV, l'apport de la réalité virtuelle a changé l'apprentissage des enfants puisque ceux-ci ont pu voir leur modélisation à une échelle réelle et cela leur a permis notamment de renforcer leur motivation. Mais selon lui, il est encore trop tôt pour dire si la réalité virtuelle va devenir un outil commun de l'enseignement (engadget.com, 2014).

### **3.4 Le rôle du sentiment de présence dans l'apprentissage**

Mantovani, F., & Castelnuovo, G. (2003) expliquent que la présence joue un rôle très important dans le processus d'apprentissage et de transfert de compétence. Ils expliquent qu'un apprenant ayant le sentiment de présence élevée dans le monde virtuel devrait trouver celui-ci plus engageant. C'est-à-dire que la personne présente dans l'environnement virtuel doit se sentir être le corps de la personne dans l'environnement virtuel. En effet, selon eux, un sentiment de présence plus fort pendant l'expérience permet une implication émotionnelle plus forte ce qui facilite la possibilité ultérieure de rappeler, à travers les associations, la situation de la formation. Ceci permet aussi de rendre l'expérience plus motivante. Pantelidis, V. S. (2009) explique que la réalité virtuelle a un très fort intérêt pour l'apprentissage de manière générale car elle permet d'être motivante et encourageante pour l'apprenant puisque celui-ci fait partie intégrante de l'environnement virtuel d'apprentissage grâce au sentiment de présence. Cela pourrait aussi, selon l'auteur, ouvrir un outil supplémentaire pour les enfants ayant de la difficulté avec les médias traditionnels. Mais certains auteurs ne sont pas du même avis, certains auteurs comme Mikropoulos, T. a., & Natsis, A. (2011) qui ont fait une revue de littérature sur la réalité virtuelle nous expliquent que le seul avantage qui semble ressortir des différentes études de l'utilisation de la réalité virtuelle par rapport à un écran d'ordinateur est quand le sujet d'apprentissage est complexe, 3D et dynamique. Selon la revue de littérature qu'ils ont faite, la présence joue un rôle positif dans l'apprentissage mais, ils constatent que malgré que le fait que les études suggèrent que cela soit très motivant pour l'apprenant une étude a révélé que cela pourrait créer de la surcharge cognitive. Pour d'autres chercheurs comme Slater, M., & Wilbur, S. (1997), il n'y pas de raison de penser qu'il y a un lien entre le sentiment de présence et l'exécution d'une tâche, parce que ce facteur est loin d'être le plus important. En effet, les interfaces utilisateurs semblent être un facteur beaucoup plus déterminant que la notion de présence. Selon eux, la présence est importante dans le cas où l'apprenant doit exécuter des tâches dans l'environnement virtuel et qu'il devra les refaire de manière précise dans la réalité comme les chirurgiens. Moreno, R., & Mayer, R. (2001) qui ont comparé l'effet cognitif de plusieurs types de visualisation concernant une thématique portant sur la science environnementale ont constaté que le niveau d'immersion ne semble pas affecter les performances d'apprentissage. Selon eux, cela serait expliqué par le fait que tant que les méthodes pédagogiques favorisent le traitement cognitif approprié, les différents types de visualisation ne semblent pas jouer de rôle. C'est pourquoi dans cette recherche, il va être question d'essayer de savoir si la réalité virtuelle permet une meilleure compréhension et si ce sentiment de présence joue un rôle sur la compréhension.

### **3.5 L'animation interactive pour apprendre**

Les animations dans l'enseignement permettent de construire une représentation mentale dynamique pour faire comprendre un concept visé. L'utilisation des animations a été démocratisée à travers les nouvelles technologies tels que les ordinateurs, tablettes et navigateur Web. La nouvelle technologie qu'est la réalité virtuelle immersive ne devrait pas

déroger à la règle puisqu'elle ouvre peut-être de nouvelles pistes d'utilisation de l'animation. Des études ont montré que le fait que l'animation soit dynamique peut provoquer de la surcharge cognitive chez certains apprenants. Cependant des recherches montrent qu'en donnant le contrôle de l'animation à l'apprenant, en la séquençant ou en attirant l'attention de l'apprenant sur les informations importantes lors de l'animation on peut en grande partie régler le problème de surcharge cognitive (Boucheix, J. M., & Rouet, J. F., 2007).

## 4. Hypothèse générale

L'hypothèse générale est que le mode de présentation qui permet une immersion visuelle totale sera plus efficace au niveau de la compréhension que le mode de présentation « Ecran de PC » puisque cela devrait permettre un sentiment de présence plus fort. En effet, selon Mantovani, F., & Castelnuovo, G. (2003) la présence dans l'environnement virtuel joue un rôle essentiel dans le processus d'apprentissage et la transmission de compétence. Et Jelfs, A., & Whitelock, D. (2000) expliquent que le sentiment de présence sera plus élevé avec l'immersion visuelle qu'avec un simple écran d'ordinateur puisque celui-ci dépend en grande partie d'avoir la sensation de faire partie de l'environnement virtuel.

## 5. Hypothèses opérationnelles

Pour le score de compréhension de la cryptographie symétrique et asymétrique :

- Le groupe « Réalité virtuelle » aura une meilleure compréhension que le groupe « Ecran PC »

Pour l'évaluation du sentiment de présence :

- Le groupe « Réalité virtuelle » aura un meilleur sentiment de présence globale que le groupe « Ecran PC »

## 6. Description du matériel expérimental

### 6.1 Bases théoriques pour la construction de l'environnement virtuel

Pour répondre à cette hypothèse, un environnement virtuel 3D nommé « Cryptarn » a été conçu sur plusieurs mois afin de servir de matériel expérimental pour l'expérimentation. La première étape avant de l'étape de conception a été de définir l'objectif d'apprentissage de ce futur environnement virtuel. Deuxièmement, il a fallu réfléchir si l'objectif méritait d'être représenté en réalité virtuelle.

#### 6.1.1 Quand est-ce qu'on doit utiliser la réalité virtuelle ?

Pantelidis, V. S. (2009) donne un modèle permettant de répondre à cette question. En effet, selon l'auteur, la réalité virtuelle a sa place dans l'enseignement parce que des recherches ont montré sa valeur pour l'apprentissage. Pour lui, la vraie question est de savoir quand celle-ci doit être utilisée et pour cela il a développé un modèle comportant 10 étapes sur lesquelles la conception s'est en partie basée puisque malheureusement, par manque de temps, les étapes d'évaluation n'ont pas pu être menées.

Les 10 étapes pour savoir si l'utilisation de la réalité virtuelle devrait être utilisée sont les suivantes :

1. Spécifier les objectifs de cours.
2. Sélectionner les objectifs qui peuvent être utilisés en réalité virtuelle.
3. Affiner ces objectifs pour savoir ceux qui peuvent utiliser une simulation 3D.
4. Pour chaque objectif, il faut se pencher sur les sous-étapes suivantes :
  - 4.1. Déterminer le niveau de réalisme requis (de très symbolique à très réel).
  - 4.2. Déterminer le type d'immersion et le niveau de présence requis, c'est-à-dire si cela nécessite beaucoup ou peu de d'immersion ou beaucoup ou peu de présence.
  - 4.3. Déterminer le type d'interaction au niveau des entrées et sorties sensorielles (visuelle, textuelle, auditive, haptique (sens du toucher)).
5. Le système et le matériel sur lesquels le monde virtuel va tourner.
6. L'environnement virtuel est construit selon les besoins de l'objectif par les instructeurs, par les étudiants ou encore préconstruit et modifié par la suite.
7. Les résultats de l'environnement virtuel est évalué en utilisant un groupe d'étudiant.
8. Les résultats de l'évaluation permettent de modifier l'environnement virtuel et cette étape avec l'étape 7 peuvent être répétées jusqu'à que l'environnement virtuel soit satisfaisant pour l'objectif visé.
9. L'environnement virtuel est évalué sur la population cible.
10. Les résultats de l'évaluation sur la population cible permet de modifier encore l'environnement virtuel et cette étape ainsi que l'étape 9 peuvent être répétées jusqu'à obtenir les meilleurs résultats possibles.



### 6.1.2 Facteurs théoriques et techniques à prendre en compte

Cette construction a été une étape critique puisque plusieurs facteurs théoriques et techniques ont dû être pris en compte lors du développement de « Cryptarn » afin de rendre l'expérience agréable pour l'utilisateur et qu'il obtienne un haut sentiment de présence dans l'environnement virtuel. Selon B. Arnaldi, P. Fuchs et P. Guittou dans l'ouvrage « Le traité de la réalité virtuelle volume 1 - L'Homme et l'environnement virtuel » (2006), la réalité virtuelle peut être utilisée pour simuler certains aspects du monde réel, elle peut aussi permettre de créer des mondes dit imaginaires qui ne seront pas forcément des simulations du monde réel mais elle peut aussi et surtout représenter un monde symbolique qui va permettre la compréhension d'un monde simulé. C'est dans cette optique symbolique, qu'a été développé l'environnement virtuel puisque celui-ci illustre le concept abstrait (pour les personnes n'ayant pas de très bonnes connaissances en informatique) du fonctionnement de la cryptographie symétrique et asymétrique. En ce sens, il est important de ne pas parler de degré de réalisme puisque le but ici, n'est pas de représenter le monde réel tel qu'il est mais d'expliquer un concept qui est difficilement visualisable dans la réalité. C'est pourquoi, dès le départ, il n'a pas été voulu de créer un environnement 3D qui soit une copie de la réalité. Plusieurs auteurs parlent de points théoriques importants à prendre en compte lors du développement d'environnements virtuels 3D. Jelfs, A., & Whitelock, D. (2000) expliquent que la vitesse de répercussion de nos actions dans l'environnement virtuel joue un rôle important sur le sentiment de présence. Plus la vitesse de répercussion de nos actions est rapide et plus cela permet un meilleur sentiment de présence. Ils expliquent aussi que l'utilisation du son est très importante concernant le renforcement du sentiment de présence. Cela rejoint ce qui avait déjà évoqué plus haut concernant les 5 éléments importants pour avoir un sentiment de présence dans l'environnement virtuel donnés par les fabricants actuels de casque de réalité virtuelle.

Dès le début des recherches sur la réalité virtuelle, un problème récurrent a souvent été abordé par la littérature scientifique, c'est le mal que peut induire la réalité virtuelle qui s'apparente au mal des transports (cinétose) et qui peut ruiner l'expérience utilisateur. Cela est provoqué par plusieurs facteurs matériels et de conception. Un des principaux est induit par le fait que le corps et le regard de l'utilisateur dans l'environnement virtuel ne suivent pas celui dans la réalité. Par exemple, si le corps se déplace dans la réalité virtuelle alors que dans la réalité celui-ci est immobile cela crée deux informations contradictoires pour le cerveau. Ce mal peut heureusement être réduit voire supprimé. A ce propos, Oculus fournit une liste très intéressante de choses à prendre en compte lors du développement pour éviter ce mal de réalité virtuelle. Il faut, par exemple, minimiser les accélérations que ce soit au niveau du regard ou du déplacement, la latence joue aussi un rôle important. Il faut surtout veiller à ce que le nombre d'images affichées par seconde ne tombe pas en dessous d'un certain seuil (oculus.com, 2016).

Comme il l'a déjà été relevé dans la théorie concernant les animations, celle-ci peuvent provoquer de la surcharge cognitive vu le faible niveau d'interaction qu'ont les participants dans « Cryptarn » qui se rapproche beaucoup d'une animation immersive vu le faible niveau

d'interaction. Il a été opté de suivre deux des trois recommandations qui ont été faites sur les animations interactives pour éviter au maximum la surcharge cognitive. Premièrement, l'explication a été séquencée en deux parties distinctes : une partie symétrique et une partie asymétrique. Deuxièmement, l'attention de l'apprenant a été attirée sur les informations importantes lors de l'explication grâce à la voix-off qui précisait où il fallait regarder à certains moments. Il n'a pas été en donné en revanche le contrôle du temps dans l'environnement virtuel pour des raisons pratiques parce que l'expérimentation ne devait pas durer trop longtemps et avoir la même base commune de temps entre tous les participants.

## 6.2 Outils utilisés

Concernant la conception technique, l'Unreal Engine 4 a été utilisé comme moteur 3D puisque c'est l'un des meilleurs moteurs 3D actuel qui est gratuit et dispose d'une grande communauté. En ce qui concerne la modélisation, une partie des ressources graphiques utilisées ont été achetées sur le magasin en ligne d'Unreal (l'éditeur du moteur 3D) et l'autre partie a été modélisée dans Blender, un programme de modélisation 3D gratuit.

### 6.2.1 Illustrations des outils de développement

Figure 1 : Interface d'Unreal Engine 4 (moteur 3D gratuit)

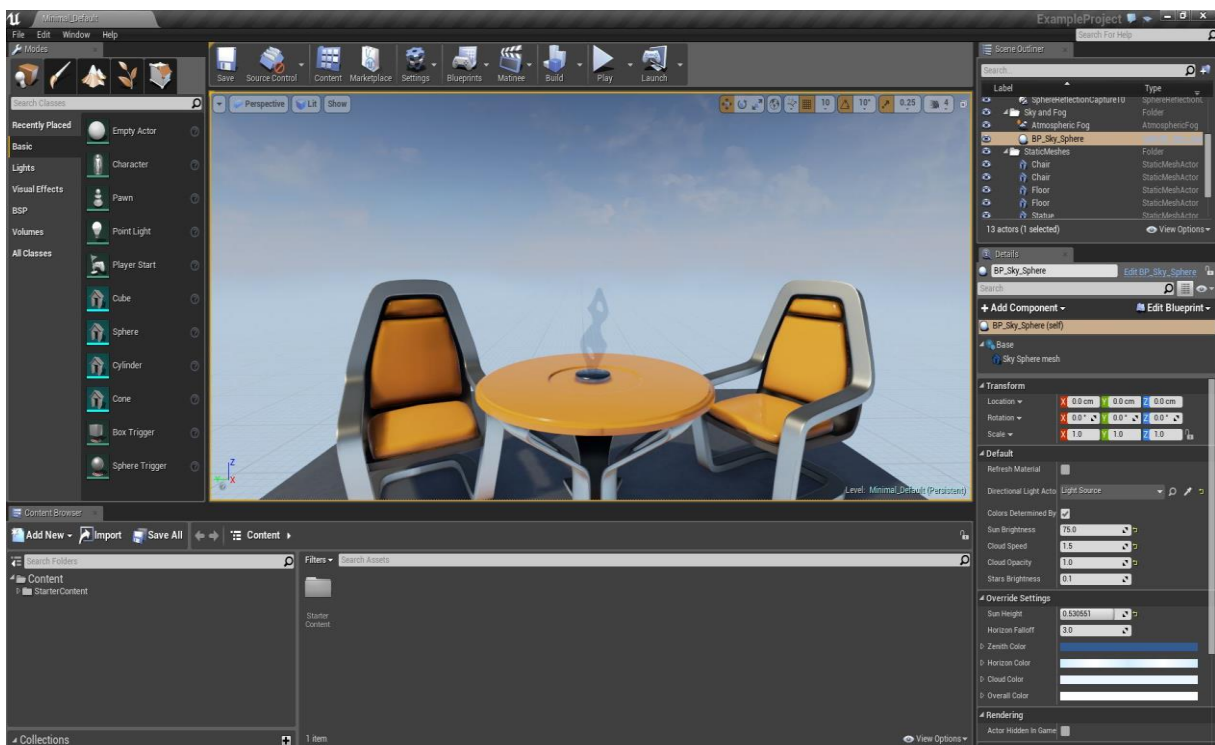
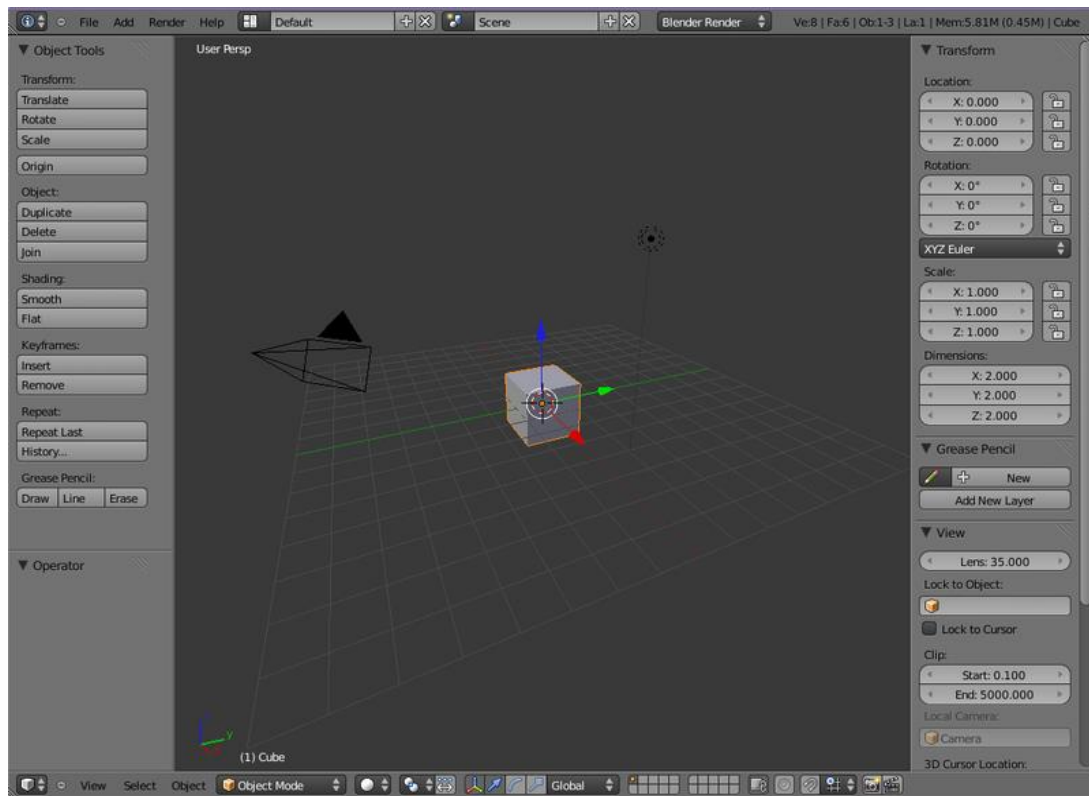


Figure 2 : Interface de Blender (programme de modélisation 3D gratuit)



## 6.3 Présentation de l'environnement 3D « Cryptarn »

### 6.3.1 Scénario de l'environnement 3D

La voix-off commence par expliquer quelle est la thématique présentée. Ensuite elle présente les deux personnages « Alice » et « Bob » dont chaque participant prendra tour à tour le rôle pendant l'explication. La première partie de l'explication concerne la cryptographie symétrique qui se base sur l'échange d'un message chiffré grâce à une seule et unique clé. La deuxième partie de l'explication concerne la partie asymétrique qui concerne de nouveau l'envoi d'un message se basant sur une paire de clés qui permet d'avoir une meilleure sécurité puisque cela nous assure que seul l'expéditeur du message est le destinataire (possédant sa clé privée qui est uniquement possédée par le celui-ci) permet de déchiffrer le message.

### 6.3.2 Description de l'environnement

L'environnement se compose de 3 pièces. Une pièce qui représente le bureau d'Alice. Une autre qui correspond au bureau de Bob. Et une troisième qui représente le bureau d'une personne malveillante qu'on retrouve uniquement dans la partie symétrique pour montrer les faiblesses de cette méthode.

### 6.3.3 Données techniques

- Compatibilité de l'environnement 3D : Windows et l'Oculus DK2 (SDK 1.0)

- Durée de l'explication dans l'environnement virtuel : 6 minutes

### 6.3.4 Images d'illustration de l'environnement 3D

Voici quelques illustrations de l'environnement virtuel terminé concernant le menu et la partie symétrique.

Figure 3 : Le menu 3D de « Cryptarn »



Figure 4 : On présente l'emplacement des deux personnages dont le participant jouera le rôle tour à tour afin d'illustrer les explications



Figure 5 : le participant est dans la peau d’Alice et a devant lui sa clé secrète (partie symétrique)



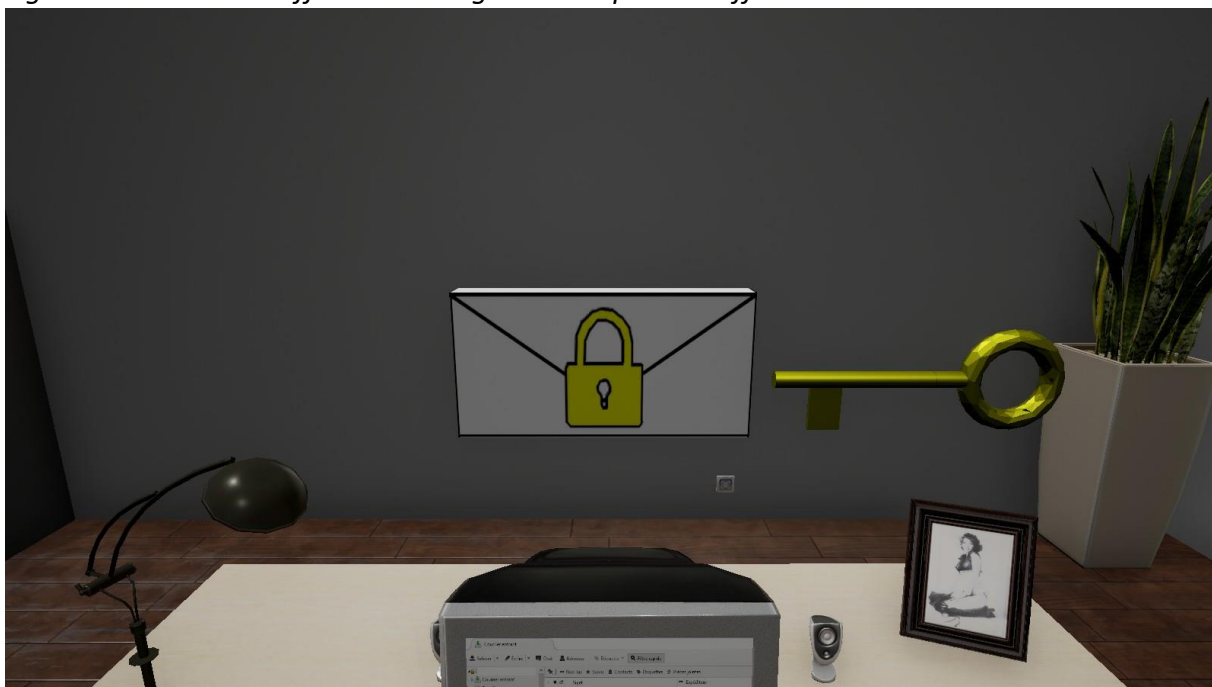
Figure 6 : Alice a chiffré son message avec sa clé secrète



Figure 7 : Alice envoie sa clé secrète ainsi que son message à Bob



Figure 8 : Bob va déchiffrer le message d'Alice qui est chiffré avec la clé secrète de celle-ci



### 6.3.5 Vidéo de l'explication de la partie symétrique

Lien de la vidéo qui montre l'environnement 3D et la partie qui traite de la partie symétrique. Elle peut être visionnée depuis n'importe quel navigateur supportant le HTML5 (peut nécessiter l'utilisation du VPN de l'UNIGE pour y accéder) :

[http://tecfaetu.unige.ch/etumal/tt/utopia/ricciac0/memoire/Presentation\\_cryptarn\\_partie\\_symetrique\\_v1\\_0.webm](http://tecfaetu.unige.ch/etumal/tt/utopia/ricciac0/memoire/Presentation_cryptarn_partie_symetrique_v1_0.webm)

## 7. Méthodologie

### 7.1 Participants

Il y avait un total de 24 participants âgés de 22 à 57 ans. Ceux-ci ont été répartis de manière aléatoire de façon à avoir le même nombre de participants entre les deux groupes de tests. Chaque groupe avait 12 participants. Le premier groupe qui se nomme « Ecran PC » devait visionner l'environnement au travers d'un simple écran d'ordinateur le second groupe qu'on nomme « Réalité virtuelle » devait visualiser l'environnement virtuel à travers un casque de réalité virtuelle qui dans le cas de l'étude était un Oculus Rift DK2.

	Hommes	Femmes	Moyenne d'âge
Groupe « Réalité virtuelle »	75%	25%	33.67
Groupe « Ecran PC »	50%	50%	31.67

Les participants ont été sélectionnés grâce aux critères de sélection suivant qui étaient évalués grâce aux questionnaires pré-test qui est présenté dans la partie matériel :

- Être majeur (plus de 18 ans).
- Ne pas avoir de connaissances préalables concernant la cryptographie symétrique et asymétrique.
- Bien comprendre le français à l'oral pour comprendre les explications orales dans l'environnement virtuel.
- Ne pas être sujet à des crises d'épilepsie.

### 7.2 Matériel

Le matériel comprend un formulaire de consentement et différents questionnaires qu'on a fait passer aux participants ainsi que le matériel pour l'expérience.

- Un questionnaire pré-test (voir annexe pour le détail) composé de 6 questions. Il a permis de demander l'âge et le sexe du participant, ses connaissances préalables en cryptographie, ainsi que de savoir si son niveau de français était suffisant pour participer à l'étude. Il y avait aussi une question qui demandait au participant s'il avait l'habitude d'utiliser des dispositifs de réalité virtuelle ce qui aurait pu impacter les résultats. Pour finir, il y avait une question qui demandait à celui-ci s'il était sujet à l'épilepsie pour éviter tout risque en utilisant le casque.
- Un formulaire de consentement (voir annexe pour le détail) qui a permis d'avoir le consentement écrit des participants à la participation et aux conditions de l'étude.



- L'environnement virtuel nommé « Cryptarn » compatible avec les dispositifs de réalité virtuelle qui a été développé avec l'Unreal Engine 4.
- Un questionnaire de compréhension (voir annexe pour le détail) composé de 14 questions. 7 questions sur la partie symétrique et 7 questions sur la partie asymétrique. Il a été conçu par rapport aux connaissances qui pouvaient être acquises dans l'environnement virtuel.
- Un questionnaire sur la présence très utilisé pour tester le sentiment de présence des utilisateurs de dispositifs de réalité virtuelle (igroup.org, 2016). En effet, celui-ci a été conçu par d'autres chercheurs en réalité virtuelle qui se basent eux-mêmes sur des travaux réalisés sur la présence. Il était composé de 10 questions et a été légèrement modifié par rapport au questionnaire original afin d'exclure les questions portant sur le réalisme comme dans le cas de l'étude cela n'était pas nécessaire (voir annexe pour plus de détails).

### **7.3 Procédure**

Après avoir eu l'aval de la commission d'éthique, la première étape a été de contacter des personnes qui pourraient participer à la recherche, pour réaliser les passations. Il leur a été expliqué ce qu'ils devaient faire pendant cette expérience. Un rendez-vous a ensuite été convenu. Lorsqu'ils arrivaient pour participer à l'expérience il leur a été demandé tout d'abord de remplir et signer le formulaire de consentement. Ensuite, ils ont dû remplir un questionnaire pré-test décrit au point 7.2. Puis, s'ils répondaient aux critères de recherche, ils visualisaient l'explication de la cryptographie symétrique et asymétrique dans le monde virtuel avec ou sans le casque en fonction du groupe qui leur avait été attribué. A la fin de l'explication, il leur a été demandé de remplir deux questionnaires. Le premier, le questionnaire de compréhension décrit au point 7.2. Le deuxième était un questionnaire sur la présence décrit au point 7.2. A la fin, les participants étaient invités à partager leurs impressions ou remarques qui étaient notées sur une feuille.

### **7.4 Les variables**

Il y avait plusieurs variables qui ont permis de vérifier les hypothèses opérationnelles :

Variable « TotalCompreh » :

La variable « TotalCompreh » est le score total obtenu grâce au questionnaire de compréhension sur la cryptographie symétrique et asymétrique. Le score maximum était de 14, c'est-à-dire 1 point par question.

Variable « PresGlobale » :

La variable « PresGlobale » est le score de présence globale obtenu grâce au questionnaire de présence qui est en fait un regroupement des 3 variables composant le questionnaire de présence (voir ci-dessous).



Variable « PRES » :

La variable « PRES » est une des variables composant le questionnaire de présence. Elle représente la présence générale évaluée par une seule question dans ce questionnaire qui est celle-ci :

- Dans le monde généré par l'ordinateur, j'ai eu le sentiment "d'y être".

Variable « SP » :

La variable « SP » est une des variables composant le questionnaire de présence. Elle représente la présence spatiale évaluée par cinq questions dans ce questionnaire qui sont celles-ci :

- D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que le monde virtuel m'entourait.
- J'avais l'impression que j'étais juste en train de percevoir des images.
- Je ne me suis pas senti présent dans l'espace virtuel.
- J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir sur un quelconque mécanisme à l'extérieur de celui-ci.
- Je me suis senti présent dans l'espace virtuel.

Variable « INV » :

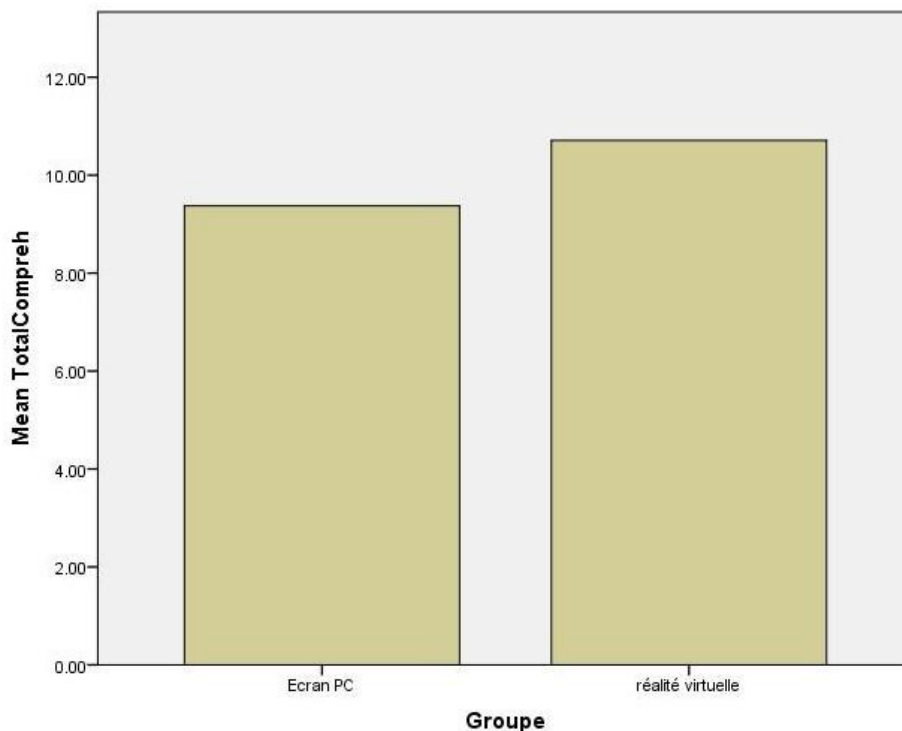
La variable « INV » est une des variables composant le questionnaire de présence. Elle représente l'implication évaluée par quatre questions dans ce questionnaire :

- A quel point étiez-vous conscient du monde réel environnant alors que vous étiez en train de naviguer dans le monde virtuel ? (Par exemple : sons, température de la pièce, présence d'autres gens, etc.) ?
- Je n'étais pas conscient de mon environnement réel.
- Je faisais toujours attention à l'environnement réel.
- J'étais complètement captivé par le monde virtuel.

## 8. Résultats

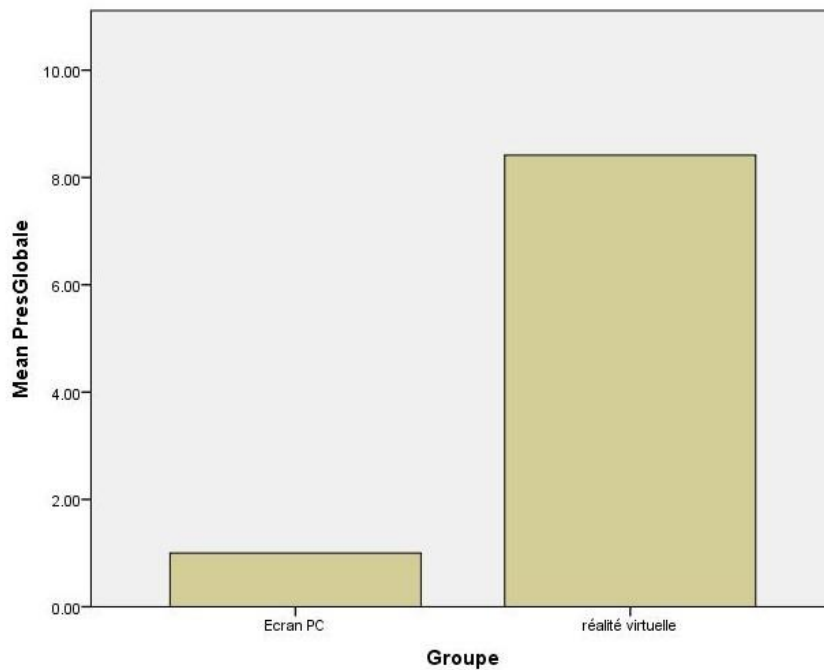
Dans cette partie sont présentés les résultats obtenus grâce à l'expérience. Pour rappel, il y avait 24 participants répartis dans 2 groupes contenant chacun 12 participants. Il y avait en tout 5 variables. Une obtenue grâce au questionnaire de compréhension qui regroupe la compréhension totale qu'on a appelée « TotalCompreh ». Et les 4 autres concernent la présence ressentie dans l'environnement virtuel. Une variable « PRES » qui représente la présence générale, la variable « SP » qui signifie la présence spatiale, la variable « INV » qui est la variable qui représente l'implication. Ces trois variables forment la variable « PresGlobale » qui est une addition de ces 3 variables qui définissent la notion de présence. Premièrement, le graphique des moyennes va être montré pour chaque variable pour les deux groupes. Même si à ce stade rien ne peut être affirmé à partir ces graphiques, il est intéressant de constater graphiquement l'écart entre les deux groupes pour chaque variable. Il sera ensuite vérifié, si la différence est significative ou pas.

Graphique de moyennes pour la variable « TotalCompreh »



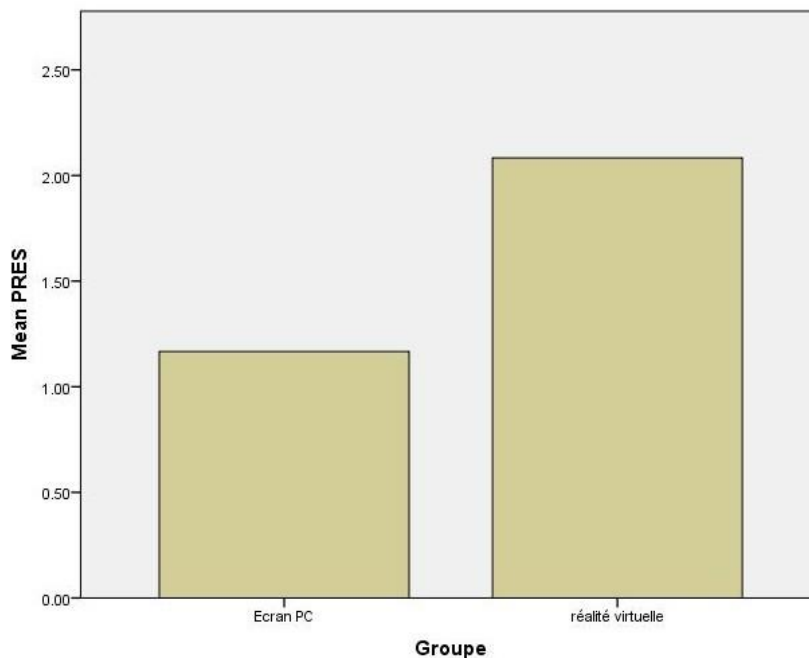
L'effet du score de compréhension global entre les deux types de visualisation reste modéré à voir si celui-ci est significatif.

Graphique de moyennes pour la variable « PresGlobale »



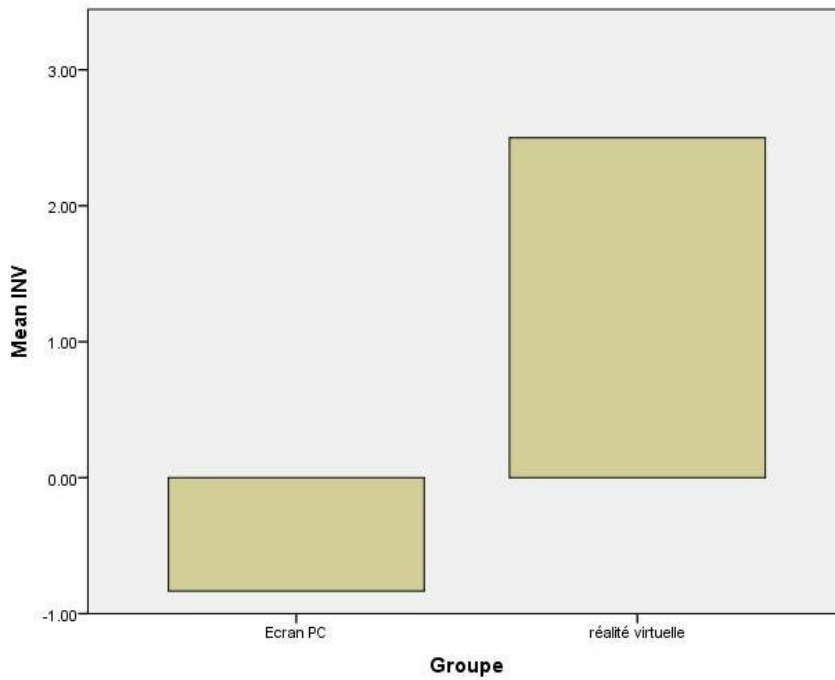
Concernant la présence globale l'écart semble très important entre les deux types de visualisation.

Graphique de moyennes pour la variable « PRES »



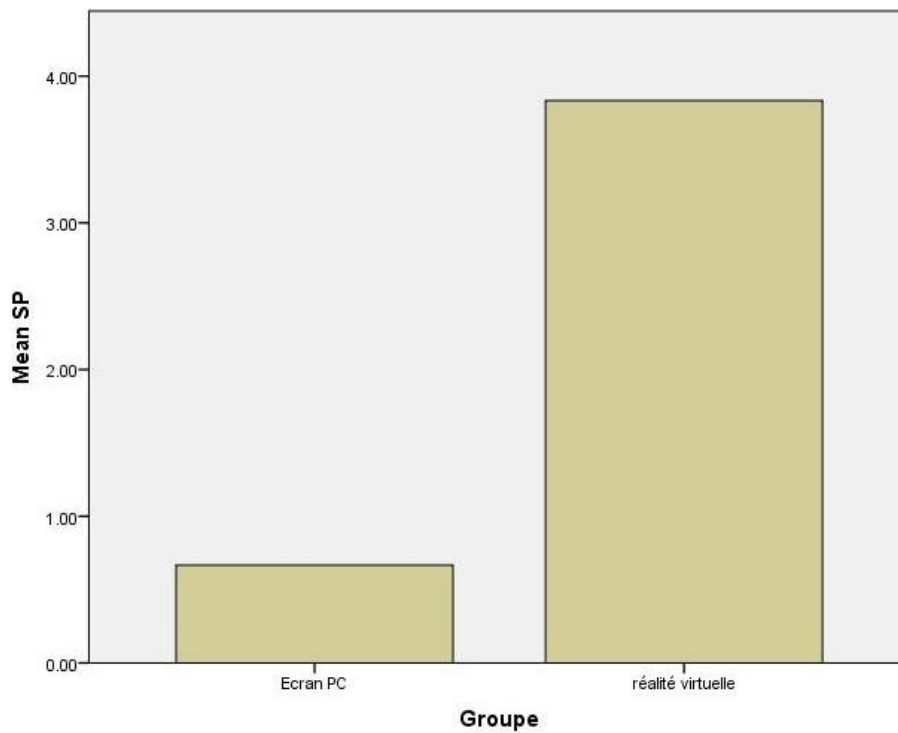
Sur ce graphique de moyennes on peut voir que l'écart du score pour la variable « PRES » semble important entre les deux groupes à voir si celui-ci est significatif.

Graphique de moyennes pour la variable « INV »



Sur ce graphique de moyennes, on peut voir que l'écart du score pour la variable « INV » semble assez conséquent entre les deux groupes.

Graphique de moyennes pour la variable « SP »



Sur ce graphique de moyennes, on peut voir que l'écart du score pour la variable « SP » semble aussi très important entre les deux groupes.

Voici le tableau récapitulatif des moyennes des variables pour des différents groupes.

Groupe		TotalCompreh	PRES	SP	INV	PresGlobale
Ecran PC	Mean	9.3750	1.1667	.6667	-.8333	1.0000
	N	12	12	12	12	12
	Std. Deviation	2.68095	1.69670	3.67630	1.52753	5.75247
réalité virtuelle	Mean	10.7083	2.0833	3.8333	2.5000	8.4167
	N	12	12	12	12	12
	Std. Deviation	2.12623	.66856	3.56328	3.47720	5.05350
Total	Mean	10.0417	1.6250	2.2500	.8333	4.7083
	N	24	24	24	24	24
	Std. Deviation	2.46240	1.34528	3.89258	3.13003	6.51072

Score maximum et minimum pour chaque variable :

- Variable « TotalCompreh » : score maximal possible est de 14 et le score minimum de 0.
- Variable « PRES » : score maximal possible étant de 3 et le score minimum de -3.
- Variable « SP » : score maximal étant de 15 et le score minimum de -15.
- Variable « INV » : score maximal possible étant de 12 et le score minimum de -12.
- Variable « PresGlobale » : score maximal possible étant de 30 et le score minimum de -30.

Ensuite, le test de normalité de Shapiro-Wilk a été effectué afin de savoir quel test devait être utilisé pour tester la significativité des résultats pour chaque variable.

#### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TotalCompreh	.121	24	.200*	.953	24	.321
PRES	.276	24	.000	.757	24	.000
SP	.160	24	.116	.963	24	.497
INV	.230	24	.002	.876	24	.007
PresGlobale	.090	24	.200*	.982	24	.924

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Grâce à ce tableau on peut voir que la variable « TotalCompreh » ainsi que les variables, « SP » et « PresGlobale » suivent une loi normale. En effet, la variable « TotalCompreh » obtient un degré de significativité de 32.3 % qui est supérieur à 5 %. La variable « SP » a un degré de significativité de 49.4 % > 5 %. Pour finir, la variable « PresGlobale » obtient un degré de significativité de 92.4 % > 5 %. Cela permet pour ces 3 variables de mener une analyse de type T-Test afin de voir s'il y a une différence significative pour les variables entre

les deux groupes. Par contre, la variable « PRES » et « INV » ne suivent pas une loi normale. Pour la variable « PRES » le degré de significativité est de 0 % qui est inférieur à 5 % et pour la variable « INV » le degré de significativité est de 0.7 % qui est aussi inférieur à 5 %. Pour ces deux variables ayant un degré de significativité inférieur à 5%, un test non paramétrique va être utilisé afin de voir s'il y a une significativité entre les deux groupes.

Voici les résultats obtenus grâce au T-Test sur les 3 variables qui suivent une loi normale. Pour chacune d'entre elle, la différence pour le groupe Ecran PC ou réalité virtuelle va être observée afin de voir si elle est significative.

## T-Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
TotalCompreh	Equal variances assumed	.727	.403	1.350	22	.191	1.33333	.98777
	Equal variances not assumed			1.350	20.915	.191	1.33333	.98777
SP	Equal variances assumed	.747	.397	2.143	22	.043	3.16667	1.47795
	Equal variances not assumed			2.143	21.979	.043	3.16667	1.47795
PresGlobale	Equal variances assumed	.114	.739	3.355	22	.003	7.41667	2.21037
	Equal variances not assumed			3.355	21.641	.003	7.41667	2.21037

Comme on peut le voir sur ce tableau, la variable qui représente le score de compréhension total ne semble pas significatif Sig. (2-tailed) = 0.191 ce qui donne 19.1 % qui est supérieur à 5 %. Cela veut dire que l'effet du facteur type de visualisation n'est pas représentatif et cela ne permet pas de dire qu'un type de visualisation permet une meilleure compréhension qu'un autre. Par contre, il est significatif pour la variable « SP », (2-tailed) = 0.043 ce qui donne 4.3% < 5%. Il l'est aussi pour la variable « PresGlobale » (2-tailed) = 0.003 ce qui donne 0.3% < 5. Cela permet d'affirmer qu'il y a un lien entre le type de visualisation et la présence spatiale et la présence globale. En effet, on voit qu'on obtient de meilleurs résultats grâce au casque de réalité virtuelle qu'avec l'écran PC concernant la présence spatiale ce qui permet de dire que le casque de réalité virtuelle permet d'avoir une présence spatiale plus importante dans l'environnement virtuel. Pour la variable « PresGlobale » qui est un regroupement des 3 variables qui constituent la présence et qui représentent le sentiment de présence globale, cela permet de dire que celle-ci est plus élevée avec le casque.

Pour les deux autres variables « PRES » et « INV » qui ne suivent pas une loi normale, un test non paramétrique a été fait et va permettre de voir si la différence entre les 2 groupes est significative.

### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of PRES is the same across categories of Groupe.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.160 <sup>1</sup>	Retain the null hypothesis.
2	The distribution of INV is the same across categories of Groupe.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.020 <sup>1</sup>	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

Comme on peut le voir sur ce tableau la variable « PRES » n'est pas significative (sig = 16 % > 5%), alors que la variable « INV » est significative (sig = 2 % < 5%). On peut donc conclure que le type de visualisation n'a pas d'impact sur la présence générale, à ne pas confondre avec la variable de présence globale qui regroupe les 3 variables. Alors que le mode de présentation influence significativement sur l'implication dans l'environnement virtuel.

Le test pour voir si le sentiment de présence joue un rôle dans la compréhension n'a pas été fait sachant que le résultat pour la compréhension entre les deux groupes n'est pas significatif.

## 9. Discussion des résultats

Comme cela a été vu dans les résultats, ceux-ci ne permettent pas de savoir si la compréhension du concept abstrait que ce soit avec l'écran PC ou le casque de réalité virtuelle ait été influencé par ces types de visionnement puisque la différence entre les deux groupes de test pour le score de compréhension n'est pas significative. C'est-à-dire que la première hypothèse opérationnelle qui sous entendait que le groupe « Réalité virtuelle » aurait une meilleure compréhension que le groupe « Ecran PC » est invalidée. Concernant la présence dans l'environnement virtuel, nous pouvons dire, grâce aux résultats, que le casque de réalité virtuelle a une influence sur la présence et permet une meilleure présence dans l'environnement virtuel puisque les résultats pour la présence globale sont significatifs. Cela confirme la deuxième hypothèse opérationnelle qui supposait que le groupe « Réalité virtuelle » aurait un meilleur sentiment de présence globale que le groupe « Ecran PC ». Le sentiment de présence ne semble donc pas jouer un rôle en ce qui concerne la compréhension d'un concept abstrait qui ne nécessite pas une interaction poussée. Cela rejoint quelque peu ce que dit la recherche de Moreno, R., & Mayer, R. (2001) qui explique qu'il n'y pas de raison de penser qu'il y a un lien entre le niveau d'immersion et les performances d'apprentissage. Selon eux, cela serait expliqué par le fait que tant que les méthodes pédagogiques favorisent le traitement cognitif approprié, les différents types de visualisation ne semblent pas jouer de rôle significatif. En effet, quel que soit le support de visionnement, si celui-ci est construit de façon à favoriser le traitement cognitif il ne semble pas y avoir de raison qui pousserait un support à avoir de meilleurs résultats qu'un autre. C'est ce qui a pu être constaté avec le concept abstrait qu'est la cryptographie symétrique et asymétrique présenté dans l'environnement 3D dont l'explication pouvait être compris ou pas compris en étant immergé ou en ne l'étant pas. Il est aussi intéressant de souligner que l'étude de Bailey, J., Bailenson, J., Won, A., Flora, J., & Armel, K (2011) indique que la présence peut impacter de manière négative la mémorisation notamment par le fait de la surcharge cognitive mais cela dépend aussi selon eux grandement des individus. L'étude de Whitelock, D., Romano, D., Jelfs, A., & Brna, P. (2000) souligne aussi que le sentiment de présence peut perturber l'attention de l'utilisateur et produire de la surcharge cognitive. Cela ne s'est pas explicitement vu dans les résultats puisque ceux-ci ne permettent pas de montrer que l'immersion visuelle pourrait nuire à la compréhension. Il est cependant vrai qu'un participant faisant partie du groupe avec le casque de réalité virtuelle s'est dit un peu déconcentré par le fait d'être justement présent dans l'environnement virtuel, dans le sens où par moment il avait plus de peine à se concentrer sur l'explication et était tenté de regarder autour de lui. C'est peut-être cette surcharge cognitive qui nous a empêché de faire un lien entre la compréhension et le sentiment de présence. Cependant, il faut relativiser ces propos car que ce soit avec le casque de réalité virtuelle ou l'écran PC, certains participants ont dit avoir eu un peu de confusion entre la partie symétrique et asymétrique qui s'enchaînaient temporellement. Il aurait peut-être été mieux de fragmenter au niveau temporel l'explication en deux parties distinctes pour éviter toute confusion entre les deux



parties et avoir des résultats plus concluants. Le fait que le sentiment de présence n'ait pas permis une meilleure compréhension peut aussi s'expliquer par le fait que, comme l'ont fait remarquer certains participants, à la fin de des questionnaires que le sentiment de présence dans le monde virtuel n'a pas été forcément constant et ne s'est fait ressentir que par moment. Ce qui pose plusieurs questions pour de prochaines recherches, est-il possible et souhaitable d'obtenir un sentiment de présence permanent dans l'environnement virtuel ? Tout en sachant aussi qu'il n'y a pas une interaction poussée avec l'environnement virtuel ? Et comment mesurer la présence de façon précise pour savoir si elle est permanente ou pas lorsqu'on est dans l'environnement virtuel ? Cela pourrait expliquer peut-être les résultats et pourquoi la présence ne semble pas avoir joué un rôle sur la compréhension dans l'étude.

Si on regarde les trois variables qui composent cette variable de présence globale, on constate que le casque de réalité virtuelle permet une meilleure présence spatiale et l'implication dans l'environnement virtuel alors que cela n'est pas le cas pour la variable qui représente la présence générale. En se basant sur le retour des participants, un élément intéressant en est ressorti pour pouvoir interpréter ce résultat. Un des participants nous a indiqué que le fait d'être très concentré sur l'écran PC lui a permis de faire abstraction de ce qui avait autour de lui comme quand on lit un ouvrage passionnant. Ce qui lui a permis de se sentir présent dans l'explication de l'environnement virtuel sans pour autant faire partie du groupe utilisant le casque de réalité virtuelle, cela pourrait expliquer pourquoi la variable « présence générale » qui est mesurée avec la question suivante : « Dans le monde généré par l'ordinateur, j'ai eu le sentiment « d'y être » » n'a pas obtenu une différence de résultat significatif entre les deux groupes. L'immersion visuelle avec un casque de réalité virtuelle n'est donc pas forcément obligatoire pour ressentir une certaine présence dans le monde virtuel même si celle-ci sera plus faible qu'avec un casque de réalité virtuelle. Pour finir, en se basant sur les différents retours oraux que nous ont faits des participants, ceux utilisant le casque de réalité virtuelle nous ont dit avoir trouvé l'explication très engageante. Ce qui semble rejoindre l'étude de Whitelock, D., Romano, D., Jelfs, A., & Brna, P. (2000) qui expliquent que le fait de se sentir présent et de faire partie de l'environnement virtuel peut se révéler être très motivant. Cela s'explique peut-être aussi par le fait que c'est une nouvelle technologie et donc cela a pu jouer un rôle sur leur motivation tout en étant plus distrait qu'à l'accoutumé puisque cela fait toujours une drôle sensation d'être coupé de son environnement réel au début, ce qui expliquerait pourquoi on ne retrouve pas le lien bénéfique entre cet engagement et l'apprentissage. Il serait aussi pertinent de refaire une étude similaire avec plus de participants permettant d'avoir une réelle tendance qui se dégage car peut-être qu'avec un nombre de 24 participants cela n'était pas un échantillon suffisant.

## 10. Conclusion

En conclusion, cette étude ne m'a pas permis de montrer que l'immersion visuelle fournie grâce à un casque de réalité virtuelle ne nécessitant que peu d'interaction permette une meilleure compréhension malgré un meilleur sentiment de présence d'être dans l'environnement virtuel. Le sentiment de présence n'a pas pu être mis en lien avec le score de compréhension. Néanmoins, certaines questions restent ouvertes. Il faut effectivement savoir que la technologie actuelle ne semble pas permettre un sens de présence permanent. Et le fait que l'interaction avec le monde virtuel que nous avons construit soit faible a aussi pu jouer un rôle sur ces résultats. Il est donc primordial dans les prochaines années de trouver un moyen d'affiner la mesure de cette présence afin de savoir si celle-ci est continue ou pas et dans le cas où elle serait continue sur elle est bénéfique ou pas pour la compréhension. Il est aussi important de préciser que le nombre de participants a peut-être été trop faible pour tirer des conclusions pertinentes.

Cette étude nous a permis de constater plusieurs choses à améliorer si une étude similaire devait être entreprise. L'interaction était très faible puisque même si on pouvait interagir avec la tête, l'action se déroulait essentiellement devant l'utilisateur. Il serait intéressant de voir si l'explication d'un concept abstrait nécessitant plus d'interaction notamment des mains et de la tête, par exemple en devant saisir des objets en exploitant de façon naturelle les 360 degrés que permet les casques de réalité virtuelle permettrait d'obtenir des résultats plus positifs que si cette explication est visionnée sur un simple écran PC. Il serait peut-être intéressant de donner un pouvoir plus important à l'apprenant concernant le déroulement de l'apprentissage lui permettant de temporiser l'explication comme avec les animations afin d'éviter peut-être le problème de surcharge cognitive qui pourrait découler d'une immersion complète.

Cette nouvelle technologie semble tout de même offrir une excellente solution complémentaire par rapport aux solutions d'apprentissage actuelles sachant que celle-ci est devenue abordable et qu'elle offre une nouvelle approche fort intéressante pour enrichir un cours et motiver les étudiants comme semblent le montrer les retours de certains des participants.

## 11. Bibliographie

Winn, W. (1993). A conceptual basis for educational applications of virtual reality (Report No. TR-93-9). Human Interface Technology Laboratory, Washington Technology Center

Jelfs, A., & Whitelock, D. (2000). environments : what makes the environment “real” 31(2), 145–152.

Mantovani, F., & Castelnuovo, G. (2003). The Sense of Presence in Virtual Training: Enhancing Skills Acquisition and Transfer of Knowledge through Learning Experience in Virtual Environments. *Being There: Concepts, Effects and Measurement of User Presence in Synthetic Environments*.

G. Berthoz A., Vercher J-L., Collectif (2006). *Le traité de la réalité virtuelle volume 1 - L'Homme et l'environnement virtuel*, 380 pages. En ligne ici : <http://www.pressesdesmines.com/media/extrait/TRV4Extr.pdf>

Mellet-d’Huart, D., & Michel, G. (2006). Réalité virtuelle et apprentissage. *Les Environnements Informatiques Pour l’Apprentissage Humain*.

lesnumeriques.com (2015). *YouTube se met à la réalité virtuelle*. En ligne ici : <http://www.lesnumeriques.com/vie-du-net/youtube-se-met-a-realite-virtuelle-n46945.html>

lemonde.fr (2015). *Réalité virtuelle : immersion au cœur de la Syrie dévastée par les combats*. En ligne ici : [http://www.lemonde.fr/proche-orient/video/2015/09/15/realite-virtuelle-immersion-au-c-ur-de-la-syrie-devastee-par-les-combats\\_4758244\\_3218.html](http://www.lemonde.fr/proche-orient/video/2015/09/15/realite-virtuelle-immersion-au-c-ur-de-la-syrie-devastee-par-les-combats_4758244_3218.html)

Smith, P. C., & Hamilton, B. K. (2015). The Effects of Virtual Reality Simulation as a Teaching Strategy for Skills Preparation in Nursing Students. *Clinical Simulation in Nursing*, 11(1), 52–58.

D’huart, D. M. (2004). La réalité virtuelle : un média pour apprendre. *Cinquième Colloque Hypermédias et Apprentissages*, 331–338.

Slater, M., & 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.

Roadtovr.com (2014). *Oculus Shares 5 Key Ingredients for Presence in Virtual Reality*. En ligne ici : <http://www.roadtovr.com/oculus-shares-5-key-ingredients-for-presence-in-virtual-reality/>

Michael Abrash, Valve (2014). *What VR could, should, and almost certainly will be within two years*. En ligne ici :

<http://media.steampowered.com/apps/abrashblog/Abrash%20Dev%20Days%202014.pdf>

Whitelock, D., Romano, D., Jelfs, A., & Brna, P. (2000). Perfect presence: What does this mean for the design of virtual learning environments? *Education and Information Technologies*, 5(4), 277–289.

businessinsider.com (2015). *Three-dimensional audio makes virtual reality so much better it's crazy*. En ligne ici : <http://uk.businessinsider.com/virtual-reality-the-importance-of-3d-positional-audio-2015-4?r=US&IR=T>

Bell, J. T., Fogler, H. S., & Arbor, A. (1995). The Investigation and Application of Virtual Reality as an Educational Tool, (2513), 1–11.

thepeakperformancecenter.com (2013). *Felder-silverman*. En ligne ici : <http://thepeakperformancecenter.com/educational-learning/learning/preferences/learning-styles/felder-silverman/>

Gurusamy KS, Aggarwal R, Palanivelu L, Davidson BR. (2009). Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. En ligne ici : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19160288>

engadget.com (2014). *Irish school children are building worlds for the Oculus Rift*. En ligne ici : <https://www.engadget.com/2014/04/19/irish-school-children-are-building-worlds-for-the-oculus-rift/>

Moreno, R., & Mayer, R. (2001). Virtual Reality and Learning: Cognitive and Motivational Effects of Students' Sense of Presence. *Human-Computer Interaction Proceedings*, 1–3.

Pantelidis, V. S. (2009). Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. *VR in the Schools*, 1(1), 59–70.

Mikropoulos, T. a., & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009). *Computers and Education*, 56(3), 769–780.

Boucheix, J. M., & Rouet, J. F. (2007). Les animations interactives multimédias sont-elles efficaces pour l'apprentissage? *Revue Francaise de Pedagogie*, 160, 133–156.

oculus.com (2016). *Introduction to Best Practices*. En ligne ici : [https://developer3.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp\\_intro/](https://developer3.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp_intro/)

oculus.com (2016). *Simulator Sickness*. En ligne ici : [https://developer.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp\\_app\\_simulator\\_sickness/](https://developer.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp_app_simulator_sickness/)

igroup.org (2016). *igroup presence questionnaire (IPQ) overview*. En ligne ici :  
<http://www.igroup.org/pg/ipq/index.php>

Bailey, J., Bailenson, J., Won, A., Flora, J., & Armel, K. (2011). Presence and Memory: Immersive Virtual Reality Effects on Cued Recall. *Proceedings of the International Society for Presence Research Annual Conference*. Retrieved from

**Articles aussi consultés à titre informatif :**

Schuemie, M. J., van der Straaten, P., Krijn, M., & van der Mast, C. a. (2001). Research on presence in virtual reality: a survey. *Cyberpsychology & Behavior : The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 4(2), 183–201.

Windschitl, M., Winn, B., Education, C., Box, M. H., & Wa, S. (2000). A Virtual Environment Designed To Help Students Understand Science. *Sciences-New York*, 290–296.

Slater, M., & Usoh, M. (1994). Body centred interaction in immersive virtual environments. *Artificial Life and Virtual Reality*, 1, 1–22.

Mazuryk, T., & Gervautz, M. (1996). Virtual Reality - History, Applications, Technology and Future, 72.

Salzman, M. C., Dede, C., Loftin, R. B., & Chen, J. (1999). A Model for Understanding How Virtual Reality Aids Complex Conceptual Learning. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8, 293–316.

Krummel, T. M. (1998). Surgical simulation and virtual reality: the coming revolution. *Annals of Surgery*, 228(5), 635–7.

Stuart C. Grant and Lochlan E. Magee (2000). *Navigation in a Virtual Environment Using a Walking Interface*. Defence and Civil Institute of Environmental Medicine. En ligne :  
<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/p010615.pdf>

estilos4virtual.over-blog.com (2013). *Modèle Felder-Silverman*. En ligne :  
<http://estilos4virtual.over-blog.com/>

etr.fr (2016). *Communauté française traitant de la réalité virtuelle*. En ligne :  
<http://www.etr.fr/>

Olszak M. (2013). *Comparaison d'échantillons*. Outils informatiques de Statistique, Université de Genève, 1-52.

# Annexes

## Formulaire de consentement :

RECHERCHE	
L'immersion visuelle totale permet-elle une meilleure compréhension d'un concept abstrait que l'écran d'ordinateur	
Responsable(s) du projet de recherche :	Arnaud Ricci, étudiant du Master MALTT, <a href="mailto:arnaud.ricci@etu.unige.ch">arnaud.ricci@etu.unige.ch</a> Monsieur Szilas, MER, <a href="mailto:nicolas.szilas@unige.ch">nicolas.szilas@unige.ch</a>

*(Dans ce texte, le masculin est utilisé au sens générique ; il comprend aussi bien les femmes que les hommes.)*

## INFORMATION AUX PARTICIPANTS ET CONSENTEMENT DE PARTICIPATION

La réalité virtuelle nouvelle génération et grand public va probablement bouleverser de nombreux domaines de notre société. Il est fort probable que cette technologie soit de plus en plus utilisée dans l'enseignement. C'est pourquoi nous menons cette recherche afin d'essayer de comprendre si l'immersion visuelle totale avec la technologie actuelle permet une meilleure compréhension d'un concept abstrait ne nécessitant pas d'interaction par rapport à la non immersion visuelle.

### Information aux participants

- Objectifs généraux de la recherche : Cette étude vise à analyser l'impact de deux différents modes de présentation qui sont l'immersion visuelle totale et l'écran d'ordinateur sur la compréhension du concept de la cryptographie symétrique et asymétrique.
- Procédure : Une fois que vous aurez signé le formulaire de consentement, nous allons commencer par vous faire passer un questionnaire sociodémographique comportant 6 questions qui nous permettra de savoir si vous remplissez les critères d'inclusion à la recherche. Ensuite nous vous montrerons l'explication d'un concept abstrait dans un environnement 3D qui a une durée de 6 minutes. Vous devrez

ensuite répondre à deux questionnaires, le premier comporte 14 questions de compréhension concernant l'animation dans l'environnement 3D que vous aurez vu. Vous aurez un maximum de 5 minutes pour répondre à ces 14 questions. Le deuxième questionnaire concernant le sentiment de présence comporte 10 questions et vous aurez un maximum de 5 minutes pour y répondre.

- Protection des données (mesures d'archivages/destruction des données) : Vos données seront confidentielles, pour les données numériques elles seront chiffrées sur le serveur TECFA, certaines données seront aussi stockées en local sur l'ordinateur personnelle et seront chiffrées. Elles seront bien évidemment supprimées de l'ordinateur à la fin de la recherche et pour les données papier elles seront mises dans une armoire fermée à clé à l'université (UNI PIGNON). La liste de correspondance entre l'identité des participants et le code qui leurs sont attribués sera détruite au terme de la recherche et les données seront conservées et archivées 10 ans sous la responsabilité du MER Szilas.
- Inconvénients et risques éventuels pour les participants : Aucun sauf de possibles nausées pour les personnes les plus sensibles, mais tout à été fait au niveau du développement pour éviter un quelconque mal-être pendant l'expérimentation avec l'immersion visuelle totale. En revanche, comme elle est réalisée sur un écran d'ordinateur, elle pourrait ne pas convenir aux personnes épileptiques.
- Durée du projet : mai 2016 à août 2016
- Durée des expériences et des pauses (bloc d'expériences et durée minimale des pauses s'il y a lieu) : La passation prend au total environ 20 minutes.
- Accès aux résultats de la recherche : Vous pouvez demandé les résultats de l'étude une fois que celle-ci aura été terminée en nous contactant par e-mail.
- Personne à contacter : Nicolas Szilas ([nicolas.szilas@unige.ch](mailto:nicolas.szilas@unige.ch)), Arnaud Ricci ([arnaud.ricci@etu.unige.ch](mailto:arnaud.ricci@etu.unige.ch))

### **Consentement de participation à la recherche**

Sur la base des informations qui précèdent, je confirme mon accord pour participer à la recherche « L'immersion visuelle totale dans la compréhension d'un concept abstrait », et j'autorise :

- l'utilisation des données à des fins scientifiques et la publication des résultats de la recherche dans des revues ou livres scientifiques, étant entendu que les données resteront confidentielles et qu'aucune information ne sera donnée sur mon identité ;

OUI   
NON

- l'utilisation des données à des fins pédagogiques (cours et séminaires de formation d'étudiants ou de professionnels soumis au secret professionnel).

OUI   
NON

J'ai choisi volontairement de participer à cette recherche. J'ai été informé-e du fait que je peux me retirer en tout temps sans fournir de justifications et que je peux, le cas échéant, demander la destruction des données me concernant cela pendant la durée de l'étude, c'est à dire jusqu'en août 2016 avant que la liste de correspondance soit détruite.

Ce consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Prénom Nom

---

Signature

---

Date

---

### ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

L'information qui figure sur ce formulaire de consentement et les réponses que j'ai données au participant décrivent avec exactitude le projet.

Je m'engage à procéder à cette étude conformément aux normes éthiques concernant les projets de recherche impliquant des participants humains, en application du *Code d'éthique concernant la recherche au sein de la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation* et des *Directives relatives à l'intégrité dans le domaine de la recherche scientifique et à la procédure à suivre en cas de manquement à l'intégrité* de l'Université de Genève.

Je m'engage à ce que le participant à la recherche reçoive un exemplaire de ce formulaire de consentement.



Prénom Nom

---

Signature

---

Date

---

Questionnaire sociodémographique :

Participant numéro : \_\_

**Questionnaire sociodémographique**

1) Quel est votre âge ?

-----

2) Quel est votre sexe (M/F/Autre) ?

-----

3) Êtes-vous épileptique ?  oui  non

4) Êtes-vous de langue maternelle française ou maîtrisez-vous le français depuis au moins 10 ans ?  oui  non

5) Comment évaluez-vous vos connaissances sur la cryptographie ?

a)  aucune connaissance b)  très faibles

c)  faibles d)  moyennes e)  bonnes

f)  très bonnes g)  excellentes

6) Utilisez-vous souvent des dispositifs de réalité virtuelle ?  oui  non

Questionnaire de compréhension :

Participant numéro : \_\_

**Questionnaire de compréhension**

**Cryptographie symétrique**

1. Combien de clé(s) au total faut-il pour faire de la cryptographie symétrique entre deux personnes ?

.....

2. Alice doit chiffrer avec quelle(s) clé(s) pour envoyer le message à Bob ?

.....

3. Bob doit déchiffrer avec quelle(s) clé(s) le message reçu de la part d'Alice ?

.....

4. Bob peut-il être sûr que le message d'Alice provient bien d'Alice ? Si oui, grâce à quelle clé et si non justifiez brièvement.

.....

5. Alice peut-elle être sûre que seul Bob a pu lire son message ? Si oui, grâce à quelle clé et si non justifiez brièvement.

.....

6. Quel est le point fort de la cryptographie symétrique ?

.....

7. Quel est le point faible de la cryptographie symétrique ?

.....

Nbr de point sur 7 : \_\_

## Cryptographie asymétrique

1. Combien de clé(s) au total avons-nous besoin pour faire de la cryptographie asymétrique entre deux personnes ?

.....

2. Alice doit chiffrer avec quelle(s) clé(s) pour envoyer le message à Bob ?

.....

3. Bob doit déchiffrer avec quelle(s) clé(s) le message reçu de la part d'Alice ?

.....

4. Bob peut-il être sûr que le message d'Alice provient bien d'Alice ? Si oui, grâce à quelle clé et si non justifiez brièvement.

.....

5. Alice peut-elle être sûre que seul Bob a pu lire son message ? Si oui, grâce à quelle clé et si non justifiez brièvement.

.....

6. Quel est l'avantage de la cryptographie asymétrique ?

.....

7. Quel est le point faible de la cryptographie asymétrique ?

.....

Nbr de point sur 7 : \_\_

**Nombre de point total : .../14**

Questionnaire de présence :

Participant numéro : \_\_

**Questionnaire sur le sentiment de présence**

Voici plusieurs propositions qui peuvent s'appliquer à l'expérience que vous venez d'avoir. Indiquez, s'il vous plaît, si chacune de ces propositions s'applique ou non à votre expérience. Vous pouvez utiliser n'importe quelle graduation. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse, seule votre opinion est importante. Vous remarquerez que certaines questions se ressemblent. Ceci est nécessaire pour des raisons statistiques. Rappelez-vous que vous devez répondre à ces questions en vous référant seulement à l'expérience que vous venez juste d'avoir.

**1. Dans le monde généré par l'ordinateur, j'ai eu le sentiment "d'y être".**

Pas du tout Beaucoup

-3    -2    -1    0    +1    +2    +3

**2. D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que le monde virtuel m'entourait.**

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3    -2    -1    0    +1    +2    +3

**3. J'avais l'impression que j'étais juste en train de percevoir des images.**

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3    -2    -1    0    +1    +2    +3

**4. Je ne me suis pas senti présent dans l'espace virtuel.**

Pas senti présent

Senti présent

-3   -2   -1   0   +1   +2   +3

**5. J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir sur un quelconque mécanisme à l'extérieur de celui-ci.**

Pas du tout d'accord

Complètement d'accord

-3   -2   -1   0   +1   +2   +3

**6. Je me suis senti présent dans l'espace virtuel.**

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

-3   -2   -1   0   +1   +2   +3

**7. A quel point étiez-vous conscient du monde réel environnant alors que vous étiez en train de naviguer dans le monde virtuel ? (par exemple : sons, température de la pièce, présence d'autres gens, etc.) ?**

Extrêmement conscient

Pas conscient du tout

-3   -2   -1   0   +1   +2   +3

Modérément

conscient

**8. Je n'étais pas conscient de mon environnement réel.**

Pas du tout d'accord

-3   -2   -1   0   +1   +2   +3

Tout à fait d'accord

**9. Je faisais toujours attention à l'environnement réel.**

Pas du tout d'accord

-3   -2   -1   0   +1   +2   +3

Tout à fait d'accord

**10. J'étais complètement captivé par le monde virtuel.**

Pas du tout d'accord

-3   -2   -1   0   +1   +2   +3

Tout à fait d'accord

Source du questionnaire original : <http://www.igroup.org/pq/ipq/download.php>