



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**

UFR



**ATHÉMATIQUES ET
INFORMATIQUE**

Penser l'informatique autrement

Projet tutoré

M1 Sciences de la cognition et applications

De la présence à l'immersion dans les environnements virtuels

Conditions et évaluation

Charles RIS

Paul RENOULT

Justinien GHORRA

2017 - 2018

Encadrant : Jérôme Dinet

Relectrice : Serena Ivaldi



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**

UFR



**ATHÉMATIQUES ET
INFORMATIQUE**

Penser l'informatique autrement

Année universitaire 2017 - 2018

De la présence à l'immersion dans les environnements virtuels

Conditions et évaluation

Etudiants : Charles Ris, Paul Renoult et Justinien Ghorra

Tuteur : Jérôme Dinet

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre gratitude à notre encadrant principal Jérôme DINET. Un grand merci pour nous avoir proposé un sujet aussi intéressant et de nous avoir soutenu et fait confiance tout au long de ce projet tutoré.

Merci à l'entreprise Human Games pour l'échange qu'ils ont pu nous accorder.

Nous remercions aussi le professeur Muneo KITAJIMA, expert dans les interactions humain-machine, pour le temps qu'il nous a consacré et son témoignage.

Nos remerciements vont également aux enseignants du master SCA de Nancy, où la précision de leurs cours nous aura été bien utile.

Un grand merci à l'Université de Lorraine pour nous avoir permis d'effectuer ce projet.

Table des matières

1	Introduction	5
2	Etat de l'art	5
2.1	Réalité virtuelle	5
2.2	Immersion	8
2.3	Objectif du projet	9
3	Résultats	10
3.1	Crédibilité de l'univers	10
3.1.1	Crédibilité visuelle	10
3.1.2	Crédibilité sonore	11
3.1.3	Crédibilité de l'environnement	11
3.2	Synesthésie	11
3.2.1	Plurisensorialité	11
3.2.2	Vision	12
3.2.3	Ouïe	12
3.2.4	Odorat et goût	12
3.2.5	Haptique	12
3.2.6	Proprioception	13
3.3	Présence	13
3.3.1	Subjectivité	13
3.3.2	Caractère naturel des actions	13
3.3.3	Degré de contrôle	13
3.4	Interaction avec l'environnement	14
3.4.1	Navigation	14
3.4.2	Sélection et manipulation	14
3.4.3	Posture - feedback	14
3.5	Interactions sociales	15
3.5.1	Multimodalité	15
3.5.2	Conscience mutuelle	15
3.5.3	Maintien de la cohérence	15
3.6	Émotions	15
3.7	Confort, matériel et cybermalaise	15
3.7.1	Qualité du matériel	16
3.7.2	Inclusion	16
3.7.3	Confort	16
3.7.4	Cybermalaise	16
4	Discussion	17
5	Conclusion	18
6	Annexes et références	19

1 Introduction

Avec les avancées technologiques, la réalité virtuelle est plus présente que jamais. De plus en plus de secteurs d'activité s'y intéressent et elle sera un outil déterminant dans un futur proche pour de nombreux métiers.

L'immersion est un axe primordial dans la réalité virtuelle, elle peut faire la différence entre une bonne et une mauvaise expérience. Plus la personne va être immergée, c'est-à-dire va croire en ce qu'elle perçoit et meilleure sera son expérience.

Dans le cadre d'un projet tutoré de quelques mois, cette étude vise à identifier et déterminer ce qui permet à un environnement virtuel de proposer une bonne immersion à son utilisateur. L'objectif aura donc été de proposer un outil susceptible de répondre à cette demande.

Après avoir réalisé un état de l'art portant sur la réalité virtuelle, l'immersion et nos objectifs durant ce projet, les résultats seront exposés. Ils comprennent l'outil mis en place et l'explication des critères sélectionnés. Enfin les résultats seront discutés avec des pistes d'amélioration possibles.

2 Etat de l'art

2.1 Réalité virtuelle

La réalité virtuelle peut sembler au premier abord compliquée à saisir. En effet comment peut-on associer "réalité" et "virtuel", deux mots qui semblent contradictoires ?

C'est pourtant là tout le défi, qui est de produire une réalité alternative et de faire croire à l'utilisateur que ce monde virtuel est réel.

On appelle réalité virtuelle les technologies permettant de plonger les utilisateurs dans ce genre d'environnement et leur permettant d'avoir une activité sensori-motrice à l'intérieur de celui-ci [14].

A partir de cette définition elle est généralement divisée en trois composantes : l'immersion et l'interaction sont les deux les plus courantes, la troisième est partagée entre l'imagination [8] et l'autonomie [35]. La figure 1 ci-dessous illustre différents artefacts en fonction de ces trois axes.

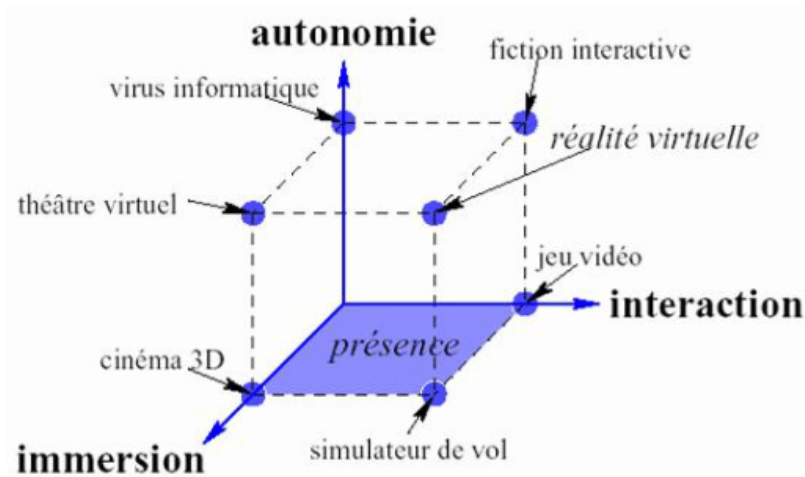


FIGURE 1 – La réalité virtuelle en trois composantes [35]

Cependant, il ne suffit pas de projeter la personne dans un monde virtuel, il faut que celle-ci ressente ce monde comme étant potentiellement réel. C'est pourquoi les utilisateurs reçoivent différents stimuli (visuels, sonores, parfois olfactifs) qui vont avoir pour but de mimer les sensations que l'on peut avoir dans le monde réel.

De plus la réalité virtuelle ne fait pas qu'agir sur l'utilisateur, mais lui permet également de devenir acteur. En effet, les dispositifs de réalité virtuelle les plus répandus sont composés d'un casque dans lequel se trouve deux écrans, un pour chaque œil, de plusieurs capteurs que l'on dispose dans la pièce et servant à capter nos mouvements, ainsi que des manettes à prendre dans nos mains. Le casque permet une immersion totale du champ visuel car notre regard ne porte que sur les écrans, de plus son gyroscope nous permet de simuler nos mouvements de tête dans l'environnement virtuel, ce qui représente l'une de nos interactions majeures à l'intérieur de celui-ci. Généralement, les manettes servent à représenter les mains ou des outils, permettant ainsi différentes interactions telles que la préhension d'objets ou encore la simulation de tirs à l'arme à feu. Tous ces dispositifs ont été pensés pour que l'utilisateur puisse interagir avec son environnement de la manière la plus naturelle qui soit pour ainsi le plonger au cœur de différentes simulations les plus immersives possibles.

Depuis quelques années la réalité virtuelle fait l'objet de nombreuses utilisations. En effet, elle est de plus en plus présente dans le domaine industriel car la représentation virtuelle d'un produit est parfois plus intéressante que la production d'une maquette pour valider sa conception [13] [44]. La réalité virtuelle apporte donc un gain de coût et un gain de temps pour les industries.

Il est également possible, pour un professionnel ou un particulier, de construire virtuellement la décoration d'intérieur d'une maison. La maquette obtenue devient visitable

avec un visiocasque, ce qui permet de se rendre compte des dimensions d'une telle décoration et de mesurer directement la satisfaction avant l'achat du mobilier.

Une autre grande utilisation de la réalité virtuelle est la simulation d'événement. Pour des raisons de coût ou de risque il est parfois préférable d'utiliser une simulation. C'est notamment le cas pour des entraînements [28] comme pour des opérations chirurgicales, le pilotage d'avion ou pour des simulations de scènes de guerre.



FIGURE 2 – Individu utilisant le “LAP Mentor simulator” pour s’entraîner à une chirurgie [21]

Ces environnements doivent donc être les plus crédibles et les plus proches possibles de la réalité afin d’entraîner au mieux les utilisateurs à des situations auxquelles ils pourront être confrontés dans le futur. La force majeure de ces simulations est qu’il est possible de les recommencer indéfiniment, ce qui n’est pas le cas dans la réalité où chaque essai a un impact et est régi par certaines variables aléatoires. Il est par exemple difficilement imaginable d’entraîner un praticien sans risque sur des patients. La réalité virtuelle apporte donc une solution alternative et complémentaire à ce qui existe déjà.

La réalité virtuelle est également employée dans le domaine thérapeutique. L’environnement virtuel est ici utilisé pour confronter la personne face à ses problèmes sous la supervision d’un médecin ou d’un spécialiste, afin de soulager ou traiter le patient. Il existe donc différentes thérapies pour aider des personnes atteintes de phobies, de troubles de la personnalité, de vertige, anorexie, boulimie [23] ou ayant besoin de rééducation (membre fantôme) [25].

Enfin, dernier domaine et pas des moindres, le jeu vidéo est l'un des laboratoires les plus remarquables de la réalité virtuelle. Bien que les prototypes de visiocasques existent depuis 1968 [34], le matériel coûtait très cher, entre 50 000 et 200 000 dollars à la fin du XXème siècle [36]. Leur apparition récente sur le marché du grand public aura permis l'essor de la réalité virtuelle grâce à ce secteur populaire et très développé, ainsi que des économies de coûts d'un facteur 100. Le parallèle peut d'ailleurs être fait avec d'autres outils d'interactions humain-machine tels que la technologie Kinect (caméras utilisant principalement les ondes infrarouge pour capter l'environnement en trois dimensions), beaucoup utilisée dans la recherche pour son faible coût, sa facilité d'utilisation et sa précision suffisante.

2.2 Immersion

Les nombreuses définitions de l'immersion dans la littérature s'accordent à la caractériser comme étant un état psychologique ayant pour trait la plongée, l'absorption dans un environnement virtuel en quittant le monde réel. Un individu est immergé lorsqu'il ne fait plus attention à ce qui l'entoure physiquement, lorsqu'il finit par se rendre compte d'une distorsion de la perception du temps et surtout, lorsqu'il a l'impression de vivre une expérience à l'intérieur de l'environnement, alors qu'il se trouve physiquement ailleurs. Cette dernière condition est appelée le sentiment de présence et est un élément central dans l'immersion [37].

Selon Csikszentmihalyi [11], une expérience est immersive si elle peut être décomposée en sous-parties elles-mêmes immersives. Chacune d'entre elles doit faire l'équilibre entre la difficulté de la tâche et les compétences de l'individu, de sorte à ce que ce dernier soit suffisamment stimulé pour ne pas s'ennuyer, sans pour autant provoquer une trop forte anxiété. Par leur enchaînement, elles forment un flux continu de phases dans lesquelles l'individu est totalement noyé dans l'environnement. La figure 3 ci-dessous distingue différents états suivant les compétences de l'utilisateur et le niveau de difficulté de la tâche.

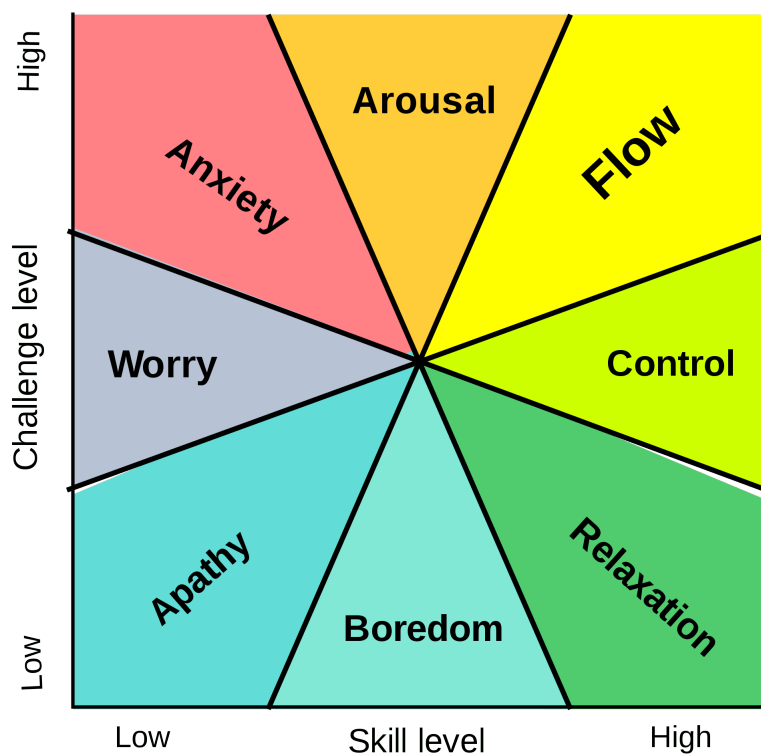


FIGURE 3 – Modèle de flow d’après M. Csikszentmihályi [40]

L’immersion est encore un vaste domaine de recherche puisqu’elle agit sur de nombreux supports tels que le cinéma, la littérature, les environnements physiques ou dans notre cas la réalité virtuelle, elle-même étant un élément clé des progrès actuels.

2.3 Objectif du projet

Notre mission durant ce projet tutoré a été d’élaborer un outil permettant d’évaluer le caractère immersif d’un environnement virtuel. Pour réaliser notre mission nous devons donc collaborer avec Jérôme DINET, représentant de l’université de Lorraine pour ce projet et professeur en psychologie, ainsi qu’avec l’entreprise Human Games, le partenaire industriel spécialisé dans le développement de solutions interactives de réalité virtuelle.

Nous devons, à partir de la littérature et des témoignages collectés durant nos collaborations, mettre en place une grille permettant d’évaluer au mieux le degré d’immersivité proposé par un environnement virtuel. Cette grille contient différents critères qui seront expliqués dans la partie qui va suivre. Ainsi, plus ces critères seront respectés plus l’environnement sera jugé comme immersif. Puis dans une seconde partie nous devons tester

cet outil et l'ajuster en fonction des différentes observations recueillies.

Malheureusement, le partenaire industriel a fait défaut, de ce fait nous n'avons pas pu collecter autant de témoignages que nous l'aurions espéré et n'avons pas pu tester notre grille d'évaluation. Cependant nous avons rebondi en nous concentrant davantage et plus en profondeur sur une étude de la littérature.

L'outil que nous avons mis au point a donc pour but d'évaluer l'immersion dans un environnement de réalité virtuelle. Cependant, il est facilement imaginable de transposer cette grille d'évaluation afin d'évaluer l'immersion d'un autre support. Bien évidemment des modifications seraient nécessaires si l'on veut évaluer l'immersion d'un film ou d'un livre mais ce n'est pas inenvisageable.

3 Résultats

La partie qui va suivre vise à exposer et expliquer les résultats de notre projet. Comme expliqué dans la partie précédente, notre objectif était de mettre en place un outil permettant d'évaluer l'immersion. Il est possible de consulter cet outil situé dans la partie annexes du document. Les explications concernant la signification et les choix de ces critères sont expliquées dans les sous-parties suivantes.

3.1 Crédibilité de l'univers

Un environnement virtuel doit proposer une expérience crédible afin d'éviter un certain dérangement ressenti par l'individu, qui viendrait perturber son immersion. Elle peut être décomposée en trois principaux sous-critères.

3.1.1 Crédibilité visuelle

La crédibilité visuelle est essentielle puisque la vue est le sens le plus développé chez l'être humain. Elle peut être définie par la perception de la profondeur [1] et notamment :

- le gradient de texture, le fait de percevoir nettement les textures du premier plan et de manière flou celles du second ;
- la perspective linéaire ayant pour point de fuite celui du regard de l'individu ;
- le gradient d'éclairement, correspondant aux nuances d'éclairement en fonction de la matière d'une surface, ainsi que de sa texture ;
- le recouvrement des éléments, le fait de cacher un élément s'il se trouve derrière un autre selon notre point de vue.

La crédibilité du style graphique de l'environnement est également à prendre en compte, et surtout s'il est destiné à être réaliste. En effet, le réalisme oblige un nombre accru de détails, l'être humain étant particulièrement sensible aux imperfections visuelles.

3.1.2 Crédibilité sonore

Le son possède à lui seul un caractère immersif pour trois raisons [43] :

- il permet de déterminer le matériau d'une surface ;
- il caractérise l'environnement, entre autres par la réverbération ;
- il est source de réaction de l'individu par sa spatialisation en trois dimensions.

Un environnement virtuel gagnera en crédibilité s'il respecte ces critères. Il est aussi nécessaire d'adapter le volume de chaque son en fonction de la position actuelle dans l'espace, et de prendre en compte le facteur de déplacement.

3.1.3 Crédibilité de l'environnement

Pour obtenir un environnement immersif, il est nécessaire que ce dernier prenne en compte l'individu pour mettre à jour le comportement des entités qui le composent. Ces entités doivent se comporter de manière autonome et doivent répondre si l'individu souhaite interagir avec elles [8].

Par exemple, dans une simulation urbaine les passants devraient dévier leur trajectoire afin de ne pas heurter l'individu s'il marche dans la rue, ou les automobilistes devraient freiner si l'individu souhaite traverser la chaussée.

3.2 Synesthésie

Pour qu'une technologie soit qualifiée de réalité virtuelle, il faut qu'elle mobilise les sens de l'utilisateur. Ainsi les informations sensorielles perçues par l'utilisateur jouent un rôle déterminant dans son immersion, surtout si elles sont combinées les unes aux autres.

3.2.1 Plurisensorialité

On peut définir simplement la plurisensorialité comme étant la combinaison de plusieurs sens. On qualifie l'immersion de complète si l'ensemble des sens sont mobilisés [32].

Cette plurisensorialité offre deux avantages importants. Le premier est que l'humain est habitué à recevoir en permanence de multiples informations sensorielles. Ainsi, l'absence d'information peut créer un sentiment de manque chez l'utilisateur [15], pensée parasite à prohiber car elle ramène l'utilisateur à la réalité.

Le second avantage est que l'être humain utilise les redondances de ses perceptions multisensorielles. Ces redondances permettraient une meilleure compréhension de notre environnement [10] [4]. Ainsi, un élément sera d'autant plus crédible s'il est vu, entendu et senti que s'il était juste vu.

3.2.2 Vision

La vue est le sens dominant chez l'être humain, c'est-à-dire celui sur lequel il se repose le plus. Il est donc indispensable de mobiliser ce sens si l'on souhaite réaliser une bonne immersion. Plus les perceptions visuelles sembleront proches de ce à quoi l'humain est habitué plus l'immersion sera forte. Un environnement virtuel en trois dimensions sera donc bien plus immersif qu'un environnement virtuel en deux dimensions.

3.2.3 Ouïe

La présence de l'ouïe est très importante en réalité virtuelle. En plus de permettre la redondance avec les informations visuelles, elle permet de saisir ce qui n'est pas toujours visible. C'est notamment le cas pour l'atmosphère, l'ambiance d'un lieu par exemple, le bruit des voitures en ville ou le chant des oiseaux en forêt.

Selon le dispositif utilisé le son aura un impact différent lors de l'immersion. L'utilisateur aura une meilleure expérience, si comme pour la vue, sa perception est la plus fidèle possible. C'est-à-dire, qu'il soit capable d'entendre les différents bruits qui l'entourent, qu'il entende plus ou moins fort et qu'il soit capable de localiser la provenance d'un son, qu'il entende la réverbération ou l'écho d'un son.

3.2.4 Odorat et goût

A l'inverse des autres sens, les récepteurs sensoriels de l'odorat et du goût sont des récepteurs chimiques, il est donc beaucoup plus compliqué de les stimuler [4].

Pour l'odorat comme pour le goût, si on dépasse les difficultés quand à leur stimulation, il reste difficile de faire varier les sensations. Une odeur ou le goût d'un aliment laisse une empreinte, offrir plusieurs perceptions successives différentes n'est donc pas une tâche aisée. Malgré le nombre très limité de dispositifs proposant ce genre de perception, certains chercheurs se sont cependant penchés sur la simulation olfactive [42] et gustative [17].

3.2.5 Haptique

Enfin le dernier sens qu'il est possible d'évaluer est l'haptique. Nous parlons ici d'haptique et non toucher afin de ne pas se limiter aux informations tactiles mais accéder également à celles concernant le retour d'effort [4]. L'haptique peut avoir un rôle très important dans l'immersion, il renforce la vision. Par exemple, si nous observons un objet et que nous y distinguons une texture, si cette texture correspond à ce que nous ressentons l'immersion sera plus importante. Imaginons maintenant que l'utilisateur se retrouve dans une situation où il est amené à pousser un objet. S'il ressent un retour de son effort, c'est-à-dire la difficulté à pousser l'objet compte tenu de son poids alors l'immersion sera accrue. Cette difficulté doit être quantifiée en fonction de l'objet poussé.

3.2.6 Proprioception

On appelle proprioception la capacité qu'a un individu à connaître inconsciemment la position de son corps et de ses différents membres, sans avoir à utiliser la vue [19].

Dans de nombreuses expériences de réalité virtuelle, l'utilisateur dispose d'un casque qui l'empêche donc de voir son corps. Le fait d'avoir des "bras virtuels" ou des "jambes virtuelles" à l'endroit où sont réellement ses parties du corps lui offre une meilleure stabilité dans l'environnement.

De la même manière les retours proprioceptifs sont très importants [29]. Par exemple pour marcher, le fait d'obtenir l'information de chaque pas en marchant réellement sur un tapis roulant sera plus immersif qu'un déplacement avec un joystick ou par téléportation (saut instantané dans l'espace) [4].

3.3 Présence

Comme dit précédemment, la présence est l'une des composantes principales de l'immersion. Bien qu'il dépende fortement des autres critères énoncés, le sentiment de présence possède néanmoins des influences propres.

3.3.1 Subjectivité

Pour faire apparaître un tel sentiment [41], il est nécessaire pour l'individu de réunir les deux conditions suivantes :

- L'implication, c'est-à-dire l'envie de se concentrer sur l'expérience immersive. De manière générale, un individu doit faire l'effort de s'investir dans l'oeuvre et d'y consacrer du temps, de la contempler.
- La propension à l'immersion, qui correspond à s'entraîner, à s'exercer à l'immersion afin de développer sa réceptivité. En effet, l'immersion dans une oeuvre n'est pas toujours spontanée ou accessible à tous, elle peut nécessiter une certaine expertise pour s'en approcher.

3.3.2 Caractère naturel des actions

Autre point, plus les actions sont naturelles, plus le sentiment de présence est important. Si l'individu agit naturellement dans l'environnement virtuel, cela signifie qu'il n'a pas besoin de réfléchir à la manière d'exécuter ses gestes et cela lui évite toutes pensées parasites pouvant l'extraire de cet environnement. Pour cause, il existe une influence significative entre la facilité d'interaction et l'augmentation du sentiment de présence [3].

3.3.3 Degré de contrôle

Un plus grand degré de contrôle chez l'individu vis-à-vis de ses actions dans l'environnement virtuel influencerait le degré de présence. Il serait entre autres composé de

réponses immédiates de l'environnement en fonction des actions initiées par l'individu, et plus particulièrement une correspondance entre les actions et les réponses [41].

3.4 Interaction avec l'environnement

L'interaction est un point clé d'une immersion réussie, elle correspond au dialogue entre l'humain et la machine, ou entre plusieurs humains dans le cas d'une communication interpersonnelle. Le fait de rendre l'utilisateur acteur et non plus spectateur va contribuer à l'immersion physique, dans un monde simulé par l'utilisation d'interfaces sensorimotrices. Les interfaces graphiques, quant à elles, permettent de faire le lien entre l'action physique et sa représentation traitée par le système. La qualité des interactions avec l'environnement se mesure donc pour chaque type d'interaction [22].

3.4.1 Navigation

L'individu doit pouvoir se déplacer à sa guise, et changer de vue lorsqu'il bouge la tête. Une technique de navigation est réussie lorsque les critères suivants sont en adéquation avec son usage [5] :

- la vitesse de déplacement doit être ajustée à l'expérience ;
- la navigation doit être précise ;
- l'individu doit avoir une conscience spatiale de l'environnement ;
- l'apprentissage et l'utilisation de la navigation doivent se faire sans encombre ;
- l'individu doit pouvoir collecter des informations sensorielles durant le trajet ;
- il doit également avoir un sentiment de présence et ne pas subir le trajet.

3.4.2 Sélection et manipulation

L'individu durant l'expérience est sujet à l'utilisation d'outils, d'objets pour évoluer dans l'environnement. Pour ce faire, il doit préalablement atteindre l'élément, puis le saisir avec par exemple ses mains. Étant la précondition de la manipulation, il faut donc que cette action de saisie soit respectée sans difficulté.

La manipulation peut alors se faire de deux manières différentes. La première est directe, elle consiste à utiliser l'élément, ou appliquer une rotation sur celui-ci de sorte à l'examiner. La deuxième est indirecte, elle nécessite une interface graphique (un bouton, un menu) pour agir sur l'élément. Le choix entre l'une des deux méthodes est à faire judicieusement, une action directe sera plus intéressante à exécuter si elle est facile à reproduire compte tenu des outils physiques mis à disposition.

3.4.3 Posture - feedback

Les actions d'un individu et notamment ses interactions dans l'environnement nécessitent un retour sensoriel, sans quoi il ne peut pas savoir si elles ont fonctionné. De plus, elles exigent une traduction instantanée et surtout un retour offrant le moins de délais possible.

3.5 Interactions sociales

Il est difficilement concevable qu'un environnement quel qu'il soit ne comporte aucune interaction sociale. Que ce soit avec des personnages non-joueur ou d'autres individus par le biais d'avatars, la communication doit s'effectuer le plus naturellement. [9]

3.5.1 Multimodalité

La multimodalité est ici importante pour une communication interpersonnelle. Elle doit en effet exister pour que des individus puissent utiliser des expressions verbales ou corporelles pour communiquer, de façon à éviter une quelconque limitation dans leur expérience.

3.5.2 Conscience mutuelle

Chaque participant doit avoir conscience des autres dans l'environnement. Instinctivement, une communication s'effectue avec l'observation des interlocuteurs. Leur existence visible dans l'univers est alors indispensable pour l'immersion.

3.5.3 Maintien de la cohérence

Lorsque deux individus échangent il se produit un enchaînement bilatéral de paroles, il convient de maintenir une telle synchronisation dans le cadre d'une communication virtuelle.

3.6 Émotions

Pour qu'une immersion soit réussie elle doit parvenir à rendre réel quelque chose de virtuel. Il est donc difficile de qualifier une expérience d'immersive si l'utilisateur ne ressent rien. En visionnant un film d'horreur, si aucune peur, aucune angoisse n'est ressentie, il n'est vraisemblablement pas possible d'affirmer avoir été immergé, étant donné l'absence des réactions attendues. C'est le même principe pour les environnements virtuels, plus les émotions ressenties seront intenses et plus l'immersion sera réussie [24]. L'anxiété est par exemple un facteur des plus intéressants dans le traitement des phobies par réalité virtuelle, notamment parce qu'elle est en relation directe avec le sentiment de présence [27].

De plus il semblerait que les émotions jouent un rôle important dans la manière dont nous percevons et agissons dans un environnement [16]. Le fait de ressentir des émotions apporte donc de la crédibilité à ce que nous percevons.

3.7 Confort, matériel et cybermalaise

Le matériel utilisé a le rôle crucial d'interface physique entre l'utilisateur et l'environnement virtuel. Il est alors la première difficulté d'adaptation et doit comporter certaines caractéristiques.

3.7.1 Qualité du matériel

Cela semble évident, mais plus la qualité du dispositif sera importante meilleure sera l'immersion. Ainsi, certaines spécificités techniques comme la définition et le rafraîchissement de l'écran entrent en jeu et sont directement en lien avec la crédibilité. Comme dit précédemment, tous les défauts pouvant être perçus par l'utilisateur entraînent des pensées parasites et ramène la personne à la réalité. Si l'utilisateur les perçoit, il risque certainement de se désintéresser de l'environnement et ainsi rater son immersion. Une image sera toujours plus agréable à regarder si elle se rapproche au maximum des capacités de l'oeil humain.

3.7.2 Inclusion

L'inclusion existe lorsque la réalité physique est complètement coupée de l'utilisateur. Ce dernier ne perçoit donc rien d'autre que la réalité virtuelle. L'inclusion serait importante car selon certaines études, le fait d'entendre des bruits provenant de la réalité physique dérangerait l'immersion de l'utilisateur [30]. L'inclusion amoindrit la capacité à se rappeler que l'environnement à l'intérieur du visiocasque est irréal, puisque les seuls stimuli reçus proviennent de celui-ci [2].

3.7.3 Confort

Nous évoquons ici le confort lié au matériel utilisé.

Ainsi, un dispositif confortable, léger et qui n'entrave pas les mouvements de l'utilisateur offrira une meilleure expérience. Il est plus bénéfique pour la personne qui utilise le matériel d'être dans une situation agréable et d'évoluer ainsi sans gêne dans l'environnement virtuel.

3.7.4 Cybermalaise

Les cybermalaises sont des effets secondaires ressentis pendant ou après une exposition à la réalité virtuelle. Ils résultent surtout d'un conflit entre trois systèmes sensoriels : les systèmes visuel, vestibulaire et proprioceptif [31].

En 2002, plus de 60% des utilisateurs ayant participé pour la première fois à une immersion dans la réalité virtuelle ont ressenti des cybermalaises à plusieurs degrés d'intensité [31]. Parmi les symptômes, on peut noter une fatigue oculaire, un mal de tête, des difficultés de concentration, une désorientation (vertiges, déséquilibre) et des nausées (avec ou sans vomissements) [18].

Bien entendu ces différents effets nuisent à l'expérience de l'utilisateur, un dispositif ne présentant pas d'effet secondaire sera donc plus immersif qu'un appareil pouvant provoquer les effets expliqués précédemment.

4 Discussion

Le premier point de discussion rencontré est le réalisme dans le cadre des environnements virtuels. En effet, le réalisme n'est pas toujours le meilleur moyen d'immerger les individus. Un environnement de "dessin animé" permettrait par exemple une meilleure immersion qu'un environnement réaliste [7], et ce phénomène est d'autant plus rencontré dans le domaine de la robotique. Un robot avec une apparence "réaliste" sera souvent considéré comme un ersatz humain pouvant faire ressentir un certain malaise, et il est préférable qu'il ait une apparence singulière, moins dérangeante. Le cas récent de Sophia, le premier robot citoyen illustre très bien ce phénomène dérangeant [20].

A noter que le réalisme est souhaitable s'il est dédié à la reconstruction virtuelle d'un lieu existant, ou qui a existé dans le passé. Néanmoins, dans un tel cas le réalisme et la crédibilité semblent indissociables.

Par ailleurs, le regard est encore trop peu utilisé malgré son importance dans une communication interpersonnelle [33]. Il serait intéressant d'utiliser des techniques d'eye-tracking pour le reproduire, ce qui nécessiterait une synchronisation entre les mouvements oculaires, corporels et le débit de parole.

En ce qui concerne la plurisensorialité, Csikszentmihalyi indique que le cerveau serait capable de traiter au maximum 126 bits/s [11], ce qui amène à penser que plus les sens sont utilisés, plus il est facile de se sentir immergé dans un environnement et surtout de ne plus en décrocher. Le cerveau recevrait suffisamment d'informations venant de l'environnement virtuel pour qu'il ne soit plus capable de traiter toutes celles provenant du réel.

L'aspect ludique d'un environnement virtuel est peut-être une autre piste à prendre en compte dans l'évaluation. Il permettrait de réduire le sentiment de contrainte d'un utilisateur et de le laisser s'immerger librement dans l'environnement [38].

Il est intéressant de préciser que l'expérience virtuelle sera toujours différente de la réalité malgré des ressemblances frappantes en matière de gestes ou de résultats. Varano achevait sa thèse par la phrase "Peindre sur un écran, c'est omettre le grain de la toile, les poils du pinceau, l'odeur de la peinture, la peinture sur les doigts, les doigts qui caressent le relief, ... ; quand nous peignons, nous ne pouvons 'annuler' ou 'rétablir'." [38]

Ces deux types d'expérience ne sont donc pas complètement appauvries ou complètement enrichies, elles comportent chacune des forces et des faibles à exploiter en connaissance de cause. Elles peuvent par ailleurs être mises en rapport avec les processus vicariants de Reuchlin [26].

Enfin nous avons longuement hésité à ajouter la mémoire comme critère permettant d'évaluer le degré d'immersion dans un environnement virtuel. La réalité virtuelle est souvent utilisée pour des apprentissages car en étant immergé l'utilisateur porte une

attention plus importante à ce qu'il doit effectuer [12] [6]. Le fait d'apprendre serait donc un indicateur de l'immersion [39].

Les souvenirs d'une expérience peuvent en effet exister grâce à l'immersion vécue, cependant des contre-exemples sont notables. Notre appréciation d'un film est en général influencée par notre propension à avoir été absorbé par celui-ci, pourtant nous nous souvenons aussi des films que nous détestons et de pourquoi nous les détestons. Nous pouvons certifier ne pas avoir "accroché au film", et pourtant il arrive que nous puissions raconter l'intrigue. Ce contre-exemple s'appliquerait pour la mémoire à long terme, il faudrait alors étudier l'immersion en fonction de chaque type de mémoire et malheureusement nous n'avons pas trouvé suffisamment de sources à ce sujet.

5 Conclusion

Ce projet tutoré nous aura permis de découvrir de nouveaux détails concernant un sujet qui nous intéressait. Grâce à lui nous avons pu développer de nouvelles compétences et avons réalisé un travail de recherche conséquent que nous n'avions jamais été amenés à faire auparavant.

Ce projet nous aura également permis de découvrir le curieux état psychologique qu'est l'immersion, ainsi que de comprendre en grande partie ce qui le compose et pourquoi il est si complexe à appréhender. Nous avons déjà expérimenté la réalité virtuelle avant de commencer à l'étudier, et pourtant il est intéressant de noter que certains de nos a priori étaient infondés, notamment sur l'aspect réaliste. La grille construite pendant ce projet mériterait maintenant d'être testée pour l'évaluation d'environnements prétendument immersifs. Dans la mesure où de nombreuses recherches sont encore en cours à ce sujet, nous sommes convaincus qu'elle sera amenée à évoluer dans un futur proche. En attendant, nous espérons qu'elle permettra aux artistes-développeurs de se donner une idée quant aux améliorations possibles de leurs environnements.

Il serait également intéressant de voir dans quelles mesures il serait possible de transposer notre grille d'évaluation sur d'autres supports que la réalité virtuelle. Bien que nous soyons convaincus que l'immersion au sein d'un environnement virtuel soit relativement proche de celui pour les films, la vérification de cette hypothèse peut être passionnante. Il en va bien entendu de même pour les autres supports bien que le parallèle soit moins flagrant.

6 Annexes et références

Crédibilité de l'univers	Crédibilité visuelle
	Crédibilité sonore
	Crédibilité de l'environnement
Synesthésie	Plurisensorialité
	Vision
	Ouïe
	Odorat et goût
	Haptique
	Proprioception
Présence	Subjectivité
	Caractère naturel des actions
	Degré de contrôle
Interaction avec l'environnement	Navigation
	Sélection et manipulation
	Posture - feedback
Interactions sociales	Multimodalité
	Conscience mutuelle
	Maintien de la cohérence
Émotions	
Confort, matériel et cybermalaise	Qualité du matériel
	Inclusion
	Confort
	Cybermalaise

TABLE 1 – Grille d'évaluation du degré d'immersivité d'un environnement virtuel

- [1] Aumont, J.: *L'image*. Cinéma / Arts Visuels. 1990, ISBN 9782091907062.
- [2] Bach, J.F., O. Houdé et P. Léna: *L'enfant et les écrans. Un Avis de l'Académie des sciences*. Éducation. Humensis, 2015, ISBN 9782746506923. <https://books.google.fr/books?id=zyOWDgAAQBAJ>.
- [3] Billinghurst, Mark et Suzanne Weghorst: *The use of sketch maps to measure cognitive maps of virtual environments*. Dans *Virtual Reality Annual International Symposium, 1995. Proceedings.*, pages 40–47. IEEE, 1995.
- [4] Bouvier, Patrice: *La présence en réalité virtuelle, une approche centrée utilisateur*. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2009.
- [5] Bowman, Doug A, David Koller et Larry F Hodges: *Travel in immersive virtual environments : An evaluation of viewpoint motion control techniques*. Dans *Virtual Reality Annual International Symposium, 1997., IEEE 1997*, pages 45–52. IEEE, 1997.
- [6] Bricken, Meredith: *Virtual reality learning environments : potentials and challenges*. Tome 25, pages 178–184. ACM, 1991.
- [7] Brogni, Andrea, Vinoba Vinayagamoorthy, Anthony Steed et Mel Slater: *Responses of Participants During an Immersive Virtual Environment Experience*. Tome 6, pages 1–10, 2007.
- [8] Burdea, G. et P. Coiffet: *La réalité virtuelle*. Hermès, 1993, ISBN 9782866013868.
- [9] Burkhardt, Jean Marie: *Immersion, représentation et coopération : discussion et perspectives de recherches empiriques pour l'ergonomie cognitive de la Réalité Virtuelle*. Tome 45, pages 59–87. Association pour la recherche cognitive, 2007.
- [10] Burr, David et David Alais: *Combining visual and auditory information*. Dans Martinez-Conde, S., S.L. Macknik, L.M. Martinez, J. M. Alonso et P.U. Tse (rédacteurs) : *Visual Perception*, tome 155 de *Progress in Brain Research*, pages 243 – 258. Elsevier, 2006. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612306550149>.
- [11] Csikszentmihalyi, Mihaly: *Flow : The psychology of happiness*. Random House, 2013.
- [12] Dede, Chris: *Immersive interfaces for engagement and learning*. Tome 323, pages 66–69. American Association for the Advancement of Science, 2009.
- [13] Ermenier, Karine: *Réalité virtuelle : cinq usages concrets dans l'industrie*. 2017. <http://www.processalimentaire.com/Emballage/Realite-virtuelle-cinq-usages-concrets-dans-l-industrie-30253>.
- [14] Fuchs, Philippe: *Les interfaces de la réalité virtuelle*. éditeur AJIIMD, 1996.
- [15] Gilkey, Robert H et Janet M Weisenberger: *The sense of presence for the suddenly deafened adult : Implications for virtual environments*. Tome 4, pages 357–363. MIT Press, 1995.
- [16] Huang, Milton P et Norman E Alessi: *Mental health implications for presence*. Tome 2, pages 15–18, 1999.

- [17] Iwata, Hiroo, Hiroaki Yano, Takahiro Uemura et Tetsuro Moriya: *Food simulator : A haptic interface for biting*. Dans *Virtual Reality, 2004. Proceedings. IEEE*, pages 51–57. IEEE, 2004.
- [18] Lawson, Ben D, David A Graeber, Andrew M Mead et ER Muth: *Signs and symptoms of human syndromes associated with synthetic experiences*. pages 589–618. Lawrence Erlbaum Mahwah, NJ, 2002.
- [19] Lexicales, Centre National de Ressources Textuelles et: *Définition de proprioception*. <http://www.cnrtl.fr/definition/proprioception>.
- [20] Millon, Louise: *Le premier robot citoyen du monde s'appelle Sophia*. 2017. <https://siecledigital.fr/2017/10/30/le-premier-robot-citoyen-du-monde-sappelle-sophia/>.
- [21] Molitch-Hou, Michael: *3D Systems Medical Goes Virtual with VR OR Surgical Training*. <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/14190/3D-Systems-Medical-Goes-Virtual-with-VR-OR-Surgical-Training.aspx>.
- [22] Ouramdane, Nassima, Samir Otmane et Malik Mallem: *Interaction 3D en Réalité Virtuelle-Etat de l'art*. Tome 28, pages 1017–1049, 2009.
- [23] Parsons, Thomas D et Albert A Rizzo: *Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias : A meta-analysis*. Tome 39, pages 250–261. Elsevier, 2008.
- [24] Price, Matthew et Page Anderson: *The role of presence in virtual reality exposure therapy*. Tome 21, pages 742–751. Elsevier, 2007.
- [25] Ramachandran, Vilayanur S et William Hirstein: *The perception of phantom limbs. The DO Hebb lecture*. Tome 121, pages 1603–1630, 1998.
- [26] Reuchlin, M.: *Processus vicariants et différences individuelles*. Journal de psychologie, 1978.
- [27] Robillard, Geneviève, Stéphane Bouchard, Thomas Fournier et Patrice Renaud: *Anxiety and presence during VR immersion : A comparative study of the reactions of phobic and non-phobic participants in therapeutic virtual environments derived from computer games*. Tome 6, pages 467–476. Mary Ann Liebert, Inc., 2003.
- [28] Sarker, S. et B. Patel: *Simulation and surgical training*. Tome 61, pages 2120–2125, 2007. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1742-1241.2007.01435.x>.
- [29] Slater, Mel et Martin Usoh: *Body centred interaction in immersive virtual environments*. Tome 1, pages 125–148, 1994.
- [30] Slater, Mel et Sylvia Wilbur: *A framework for immersive virtual environments (FIVE) : Speculations on the role of presence in virtual environments*. Tome 6, pages 603–616. MIT Press, 1997.
- [31] St-Jacques, Julie, Stéphane Bouchard et Claude Bélanger: *La réalité virtuelle au service des enfants et de adolescents : une recension des écrits*. Tome 28, pages 93–110. Université du Québec, Département de psychologie, 2007.

- [32] Stein, Barry E et M Alex Meredith: *The merging of the senses*. The MIT Press, 1993.
- [33] Steptoe, William, Robin Wolff, Alessio Murgia, Estefania Guimaraes, John Rae, Paul Sharkey, David Roberts et Anthony Steed: *Eye-tracking for avatar eye-gaze and interactional analysis in immersive collaborative virtual environments*. Dans *Proceedings of the 2008 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pages 197–200. ACM, 2008.
- [34] Sutherland, Ivan E.: *A Head-mounted Three Dimensional Display*. Dans *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*, AFIPS '68 (Fall, part I), pages 757–764. ACM, 1968. <http://doi.acm.org/10.1145/1476589.1476686>.
- [35] Tisseau, Jacques: *Réalité virtuelle et complexité*.
- [36] Tweedie, Steven: *See How Strange And Trippy Virtual Reality Was 20 Years Before The Oculus Rift*. 2015. <http://www.businessinsider.fr/us/virtual-reality-before-the-oculus-rift-2015-1>.
- [37] UQO, Laboratoire de Cyberpsychologie: *Immersion et sentiment de présence*. http://w3.uqo.ca/cyberpsy/fr/pres_fr.htm.
- [38] Varano, Sandro: *Proposal of a hypermedia navigation space based on heuristic paths as an aid to the understanding of built cultural heritage. SPASM : Paths System of Learning, Scripting and Memorizing*. Theses, Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, septembre 2010. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00547475>.
- [39] Varela, Francisco J, Evan Thompson et Eleanor Rosch: *The embodied mind : Cognitive science and human experience*. MIT press, 1992.
- [40] Wikipédia: *Flow (psychologie)*. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Flow_\(psychologie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Flow_(psychologie)).
- [41] Witmer, Bob G et Michael J Singer: *Measuring presence in virtual environments : A presence questionnaire*. Tome 7, pages 225–240. MIT Press, 1998.
- [42] Yanagida, Yasuyuki, Shinjiro Kawato, Haruo Noma, Akira Tomono et N Tesutani: *Projection based olfactory display with nose tracking*. Dans *Virtual Reality, 2004. Proceedings. IEEE*, pages 43–50. IEEE, 2004.
- [43] Zénouda, Hervé: *Son, interaction, immersion et effets de présence*. Les Cahiers de la SFSIC, (6), 2011.
- [44] Zimmermann, Peter: *Virtual reality aided design. A survey of the use of VR in automotive industry*. Dans *Product Engineering*, pages 277–296. Springer, 2008.