
Mémoire de fin d'études : "L'impact du degré de réalisme de la visite virtuelle d'une habitation sur l'expérience d'utilisateurs. Dimensions et sentiment de présence"

Auteur : Soudant, Elodie

Promoteur(s) : Hallot, Pierre

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/12509>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



UNIVERSITE DE LIEGE – FACULTE D’ARCHITECTURE

L’IMPACT DU DEGRÉ DE RÉALISME DE LA VISITE VIRTUELLE D’UNE HABITATION SUR L’EXPÉRIENCE D’UTILISATEURS

Perception des dimensions et sentiment de présence

Travail de fin d’études présenté par Elodie SOUDANT en vue de l’obtention du grade de
Master en Architecture

Sous la direction de : Pierre HALLOT

Année académique 2020-2021

L'IMPACT DU DEGRÉ DE RÉALISME DE LA VISITE VIRTUELLE D'UNE HABITATION SUR L'EXPÉRIENCE D'UTILISATEURS

Perception des dimensions et sentiment de présence



Travail de fin d'études présenté par Elodie SOUDANT en vue de l'obtention du grade de
Master en Architecture

Sous la direction de : Pierre HALLOT

Année académique 2020-2021

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Tout d'abord, merci à Monsieur Hallot, promoteur de mon TFE, pour avoir su me guider dans la construction de ce travail durant ces 2 dernières années au travers de ses précieux conseils et encouragements.

Je voudrais également remercier Monsieur Tieleman pour ses recommandations et avis profitables quant à la rédaction de ma méthodologie.

Un grand merci à Monsieur Duyckaerts, Madame Etienne, Monsieur Valembois et Madame Wolfs pour leur vision professionnelle sur le sujet.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les étudiants de Bac 1 Architecture 2020-2021 ainsi que leurs professeurs de projet sans qui cette expérience n'aurait pas pu se concrétiser.

Et pour finir, il va sans dire que je remercie mes proches, ma famille d'avoir été présents durant ces 5 années d'études, et plus particulièrement ma maman pour ses critiques et ses relectures durant la rédaction de mon TFE qui ont été inestimables.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	P.1
---------------------	-----

PARTIE I - THÉORIE	P.5
---------------------------	-----

1. RÉALITÉ VIRTUELLE	P.6
-----------------------------	-----

1.1. LES DÉFINITIONS	P.6
-----------------------------	-----

1.2. LES OBJECTIFS DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE	P.8
---	-----

1.3. LES DIVERSES APPLICATIONS	P.10
---------------------------------------	------

1.4. LES APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE L'ARCHITECTURE, DE LA CONSTRUCTION ET DE L'URBANISME	P.11
--	------

1.5. LE MATÉRIEL ET SES CARACTÉRISTIQUES	P.13
---	------

2. ASPECTS COGNITIFS	P.18
-----------------------------	------

2.1. LA PERCEPTION DES DISTANCES	P.19
---	------

2.1.1. LE SYSTÈME VISUEL HUMAIN	P.20
--	------

2.1.2. LA PERCEPTION VISUELLE	P.21
--------------------------------------	------

2.1.2.1. LES INDICES PROPRIOCEPTIFS	P.21
--	------

2.1.2.2.	LES INDICES VISUELS	P.22
2.1.2.3.	L'INDICE DYNAMIQUE	P.23
2.2.	LE SENTIMENT DE PRÉSENCE	P.24
2.2.1.	L'IMMERSION	P.27
2.2.2.	L'INTERACTION	P.29
2.2.3.	LE FOND ET L'IMPLICATION	P.32

PARTIE II - EXPERIENCE

1.	MÉTHODOLOGIE	P.35
1.1.	LE PUBLIC CIBLE	P.35
1.2.	L'APPROCHE TECHNIQUE	P.36
1.2.1.	LE CHOIX DU LOGICIEL	P.36
1.2.2.	LE CHOIX DU CASQUE	P.38
1.2.3.	LE PROJET	P.39
1.2.3.1.	LA CRÉATION DU PROJET	P.39
1.2.3.2.	LA PROCÉDURE DE MODÉLISATION	P.42
1.3.	LE QUESTIONNAIRE ET L'ENTRETIEN	P.44

1.3.1. LE QUESTIONNAIRE	P.44
1.3.1.1. LES QUESTIONS LIÉES À L'ESTIMATION DES DIMENSIONS	P.45
1.3.1.1.1. LES MÉTHODES BASÉES SUR LES ACTIONS GUIDÉES	P.46
1.3.1.1.2. LA MÉTHODE BASÉE SUR LES ACTIONS IMAGINÉES	P.46
1.3.1.1.3. LA MÉTHODE BASÉE SUR L'ESTIMATION VERBALE	P.47
1.3.1.1.4. LA MÉTHODE BASÉE SUR DES CORRESPONDANCES PERCEPTUELLES	P.47
1.3.1.1.5. LA MÉTHODE BASÉE SUR LA FAISABILITÉ	P.47
1.3.1.1.6. SYNTHÈSE	P.48
1.3.1.2. LES QUESTIONS LIÉES AU SENTIMENT DE PRÉSENCE	P.49
1.3.1.2.1. LE SLATER-USOH-STEED (SUS) QUESTIONNAIRE	P.50
1.3.1.2.2. LE PRESENCE QUESTIONNAIRE (PQ)	P.50
1.3.1.2.3. L'IMMERSIVE TENDENCIES QUESTIONNAIRE (ITQ)	P.51
1.3.1.2.4. L'IGROUP PRESENCE QUESTIONNAIRE (IPQ)	P.51
1.3.1.2.5. L'ITC-SOPI	P.51
1.3.1.2.6. SYNTHÈSE	P.51
1.3.2. L'ENTRETIEN	P.52
1.4. LA MISE EN PLACE DE L'EXPÉRIENCE	P.53

1.5.	LA PROCÉDURE DE L'EXPÉRIENCE	P.55
2.	ANALYSE DES RÉSULTATS	P.57
2.1.	L'ANALYSE PAR SOUS-HYPOTHÈSES	P.57
2.1.1.	LA SOUS-HYPOTHÈSE RELATIVE AUX MESURES	P.57
2.1.2.	LA SOUS-HYPOTHÈSE RELATIVE À L'HABITABILITÉ	P.61
2.1.3.	LA SOUS-HYPOTHÈSE RELATIVE AU SENTIMENT DE PRÉSENCE	P.64
2.2.	L'ANALYSE DES ENTRETIENS	P.72
2.3.	CONCLUSION DE L'EXPÉRIENCE	P.74
2.4.	LES LIMITES DE L'EXPÉRIENCE	P.75
	CONCLUSION	P.77
	BIBLIOGRAPHIE	P.81
	TABLE DE ILLUSTRATIONS	P.90
	ANNEXES	P.97

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'achat, la rénovation, la transformation voire la construction d'une habitation sont le projet d'une vie pour la plupart des belges qui « ont une brique dans le ventre ». Ce projet implique un engagement financier important et pour lequel les maîtres d'ouvrage ont des attentes à la hauteur de cet engagement. Or, pour le mener à bien, ils doivent avoir recours à des professionnels dont l'architecte qui sert également d'interface entre le maître d'ouvrage et les entrepreneurs. Malheureusement, « *Malentendus et frustrations semblent demeurer au cœur des interactions complexes entre architectes et clients* » (Defays, et al., 2018). En effet, la communication entre les deux parties n'est pas toujours aisée et les clients ne se sentent pas toujours compris. La difficulté est renforcée par le fait que les deux protagonistes ne parlent pas forcément le même langage et que les maîtres d'ouvrage n'ont pas tous la même capacité à comprendre des plans en 2D et à se projeter sur cette base. Or, il existe divers outils qui permettent de présenter le projet de construction sous différentes formes. Les images de synthèse sont d'ores et déjà monnaie courante. Par contre, ce n'est pas encore le cas de la réalité virtuelle. Cependant, dans un futur proche, le domaine de l'architecture ne devrait pas être en reste par rapport à d'autres secteurs qui utilisent déjà largement cette technologie. Quels investissements matériel, financier et humain cela nécessite-t-il ? Cela dépend du degré de finition souhaité. Dès lors, l'hypothèse de mon travail est : **le degré de réalisme de la visite virtuelle d'une habitation impacte l'évaluation des dimensions ainsi que le sentiment de présence.**

La première contribution de ce travail est la théorie subdivisée en deux parties : la réalité virtuelle (dorénavant notée RV ou VR pour virtual reality) et l'aspect cognitif.

Pour vérifier mon hypothèse, il est nécessaire, de prime abord, de définir la RV et ses objectifs. Ensuite, je me penche sur son utilisation dans divers domaines et plus spécifiquement l'évolution de la place assez confidentielle qu'elle occupe en urbanisme et en architecture. De surcroît, l'étude des caractéristiques du matériel est particulièrement utile pour effectuer des choix éclairés. Cette recherche me permet de saisir les tenants et

aboutissants de divers termes et concepts spécifiques tels que le temps de latence, la stéréoscopie, le tracking, la boucle sensori-motrice, les pixels par degré...

Toutefois, une expérience en réalité virtuelle est une expérience humaine qui, par conséquent est complexe et ne peut être monolithique.

De ce fait, l'aspect cognitif est abordé sous deux angles : la perception des distances et le sentiment de présence qui sont les deux variables dépendantes de mon expérience. Mais au préalable, j'explique les notions d'extéroception, intéroception et de proprioception qui sont les différentes formes de perceptions.

En ce qui concerne la première de ces deux variables, les avancées en matière de stéréoscopie et de tracking améliorent la faculté d'estimer des dimensions en RV. Les casques de RV actuels exploitent les caractéristiques du système visuel humain et plus particulièrement celles de la perception visuelle. Cette dernière constitue le traitement cognitif des diverses informations. Pour une compréhension plus approfondie, je distingue les indices proprioceptifs, les indices visuels et l'indice dynamique. Celui-ci prend en considération la position et les mouvements de rotation ou de translation de l'utilisateur ce qui est rendu possible grâce au tracking.

La deuxième variable dépendante est le sentiment de présence. Les différentes définitions ont comme point commun le sentiment « d'être là ». Trois approches entrent en ligne de compte dans le champ du sentiment de présence. Il s'agit de l'immersion, de l'interaction et du fond. L'immersion et l'interaction sont du ressort de l'aspect technologique alors que le fond et l'implication qui s'y apparie, sont de l'ordre de l'émotionnel. Cependant, toutes ont leur importance car le sentiment de présence est conditionné à la concordance des divers stimuli sensoriels.

La deuxième partie de mon travail est une expérience menée auprès de 40 participants dont le contexte est la visite d'une habitation en réalité virtuelle. Dans un premier temps, le choix du matériel, des logiciels et du fond est une phase déterminante. Ensuite, la maquette est déclinée en 4 degrés de réalisme combinant finitions texturées et meublées. Simultanément, le questionnaire et le canevas de l'entretien sont élaborés. Les questions relatives à l'estimation des dimensions reposent sur des expériences relatées dans des articles

scientifiques. Celles concernant le sentiment de présence s'inspirent de plusieurs questionnaires scientifiquement reconnus. In fine, l'analyse des résultats est subdivisée en 3 sous-hypothèses et permet de vérifier, invalider ou amender mon hypothèse de départ.

Nonobstant la méticulosité apportée à l'expérience, les résultats obtenus ne peuvent être généralisés et étendus à la population. En effet, en me focalisant sur les variables indépendantes provoquées (les 4 degrés de réalisme) et les variables dépendantes (la perception des dimensions et le sentiment de présence), je minimise volontairement l'impact des variables indépendantes invoquées en ciblant un public aussi homogène que possible.

PARTIE I – THÉORIE

PARTIE I – THÉORIE

1. RÉALITÉ VIRTUELLE

Ce chapitre a pour objectif de définir le concept de réalité virtuelle, ainsi que quelques notions en lien direct. Ses finalités et ses spécificités sont abordées ainsi que quelques exemples de domaines et d'applications dans lesquels elle est déjà exploitée. Ensuite, il est intéressant de préciser les logiciels et le matériel nécessaires à sa mise en œuvre.

1.1. LES DÉFINITIONS

Pour commencer, il est important de définir ce qu'est la réalité virtuelle. La chose pourrait paraître aisée ; cependant, il n'existe pas une définition unique reconnue internationalement par la communauté scientifique. J'ai plus souvent trouvé des informations quant à la finalité, aux fonctions ou aux applications de la RV que des définitions en soi. Dès lors, je vais citer quatre spécialistes de la question :

- « *Virtual reality can be defined as a three-dimensional, computer-generated simulation in which one can navigate around, interact with, and be immersed in another environment* » (Briggs, 1996). « *La réalité virtuelle peut être définie comme une simulation tridimensionnelle générée par ordinateur dans laquelle on peut naviguer, avec laquelle on peut interagir et où on peut être immergé dans un autre environnement* » (Toutes les citations en anglais dans le travail sont ensuite traduites par mes soins). John Briggs précise également que « *Most observers agree that one necessary characteristic is that you can navigate in a virtual world with some degree of immersion, interactivity, and a speed close to real time* » (Briggs, 1996). « *La plupart des observateurs conviennent qu'une caractéristique nécessaire est que vous pouvez naviguer dans un monde virtuel avec un certain degré d'immersion, d'interactivité et une vitesse proche du temps réel* ».
- « *La réalité virtuelle est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des 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 une personne en immersion pseudo-naturelle » (Arnaldi, et al., 2003).

- Du point de vue de la psychologie et des neurosciences, Schultheis et Rizzo définissent la RV comme *« an advanced form of human-computer interface that allows the user to « interact » with and become « immersed » in a computer-generated environment in a naturalistic fashion » (Schultheis, et al., 2001). « Une forme avancée d'interface homme-ordinateur qui permet à l'utilisateur « d'interagir » avec et de « s'immerger » dans un environnement généré par un ordinateur de manière réaliste ».*
- *« What is VR ? The word “virtual reality” is composed by the two words “virtual”, almost or nearly as described, and “reality”, the actual state of things. Consequently, we can state the term “virtual reality” basically means “almost-reality” or “near-reality”, suggesting that VR is a form of reality simulation » (Riva, 2020). « Qu'est-ce que la RV? Le mot « réalité virtuelle » est composé des 2 mots « virtuelle », presque ou proche de ce qui est décrit, et « réalité », l'état actuel des choses. Par conséquent, nous pouvons établir que le terme « réalité virtuelle » signifie « presque la réalité » ou « proche de la réalité », ce qui suggère que la RV est une forme de simulation de la réalité ».*

Les trois premières définitions mettent l'accent sur deux éléments importants de la réalité virtuelle, à savoir l'interaction et l'immersion.

Le mot « interaction » prend tout son sens si le participant agit dans le monde virtuel. Les interfaces permettent cette interaction entre l'homme et l'ordinateur. Elles sont sensorielles, motrices ou sensori-motrices comme je le développerai plus loin (voir Partie I – 2.2.2.). Le temps entre l'action sur l'environnement virtuel et la réaction perçue via les interfaces sensorielles est appelé temps de latence.

L'immersion, quant à elle, implique que l'utilisateur se sente immergé, de la manière la plus efficace possible, dans un monde artificiel (voir Partie I – 2.2.1.).

Quant à la dernière définition, elle met en évidence la distorsion induite par la traduction de « virtual reality » par « réalité virtuelle » puisque l'adjectif « virtual » devrait plus à propos être traduit par « quasi » ou « presque » (CollinsDictionary, 2020), comme le

souligne Jean-Paul Papin dans la première version du « Traité de la réalité virtuelle » en 2001 (Fuchs, et al., 2001). D'autres expressions que « réalité virtuelle » sont utilisées : cyber-espace, environnement synthétique, réalité artificielle, réalité holographique, réalité superposée, réalité alternative, réalité transformée, réalité de substitution... Il est même intéressant de noter que, pour des questions de marketing ou de lancement de prétendus nouveaux produits sur le marché, de nouvelles terminologies apparaissent pour achalander le public avec parfois un pléonasse tel que « réalité virtuelle interactive » ou « réalité virtuelle immersive ». Cependant, la traduction reconnue et publiée au Journal officiel de la République française par la Commission d'enrichissement de la langue française est « réalité de synthèse » (FranceTerme, 2007). Voici la définition mentionnée : « *Environnement créé à l'aide d'un ordinateur et donnant à l'utilisateur la sensation d'être immergé dans un univers artificiel* ». Le site précise aussi que « *La création d'une réalité de synthèse nécessite des dispositifs d'entrée-sortie particuliers tels des gants numériques, un visiocasque, un système de restitution sonore évolué, etc., associés à des logiciels graphiques tridimensionnels* » et que « *On trouve aussi, dans l'usage courant, l'expression « réalité virtuelle », qui n'est pas recommandée* ». Malgré cela et comme souligné, l'usage de l'oxymore « réalité virtuelle » est devenu monnaie courante et c'est pour cette raison que j'utiliserai ce terme tout au long de ce travail en toutes lettres ou son sigle « RV ».

1.2. LES OBJECTIFS DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

« *La RV a pour objectif de permettre à l'utilisateur de réaliser virtuellement une tâche en ayant l'impression de l'effectuer dans le monde réel. Pour générer cette sensation, la technologie doit « tromper le cerveau » en lui fournissant des informations reproduisant celles qu'il percevrait dans un environnement réel* » (Arnaldi, et al., 2018). La RV dupe le cerveau en lui faisant croire que quelque chose est réel alors qu'il ne l'est pas. C'est une nouvelle interface permettant à l'humain d'interagir avec l'ordinateur de manière naturelle et de se sentir immergé dans un environnement généré par un ordinateur. Donc, la RV permet d'approcher diverses situations, d'exploiter un champ plus étendu de possibilités (Riva, 2020). Selon les besoins, l'interaction de l'utilisateur sera plus ou moins

complexe. Cependant, une vidéo 360° ne peut être considérée comme de la réalité virtuelle vu que l'utilisateur n'interagit pas. Dès lors, pour rendre l'expérience interactive et plus réelle, diverses interfaces peuvent être mobilisées afin d'intégrer des informations visuelles, sonores et haptiques. Déjà en 1996, Fuchs précise que « *La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice dans un monde artificiel, qui est soit imaginaire, soit symbolique, soit une simulation de certains aspects du monde réel* » (Fuchs, 1996). Fuchs distingue donc trois types d'environnement artificiel. Dans le cadre de mon travail, l'environnement virtuel que j'exploiterai pour la visite de la maison sera une simulation de certains aspects du monde réel avec divers degrés de réalisme. Il souligne aussi l'interaction physique de l'utilisateur qui, comme je l'expliquerai ultérieurement, peut être de l'ordre de la proprioception ou de l'extéroception voire de la téléportation. Dès lors, la réalité virtuelle peut être représentée par une boucle sensori-motrice. L'utilisateur perçoit des informations de l'environnement virtuel dans lequel il est immergé grâce aux interfaces sensorielles (vue, toucher...) et sensori-motrices (manipulation d'objets...). Il effectue des actions qui sont communiquées au logiciel au moyen d'interfaces motrices (gestes, déplacements...) et sensori-motrices. L'ordinateur analyse ces nouvelles données et les intègre pour modifier l'environnement qu'il restitue à l'utilisateur.

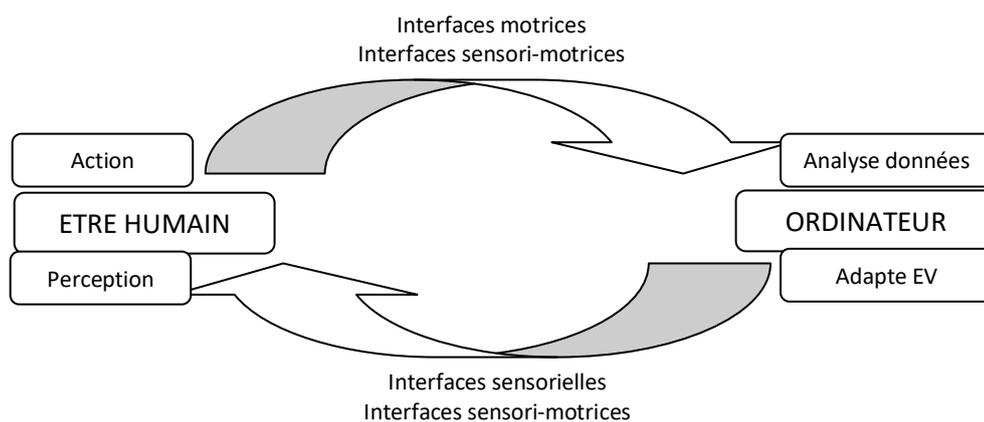


Figure 1 : Représentation de la boucle sensori-motrice de la réalité virtuelle

Donc, la réalité virtuelle calque son fonctionnement sur le comportement humain : perception, décision, action. Tout comme le confirme Riva « *The reason why VR simulation tries to get as close as possible to brain simulation is that the more the VR*

simulation is like the brain model, the more individuals feel present in the VR world » (Riva, 2020). « La raison pour laquelle la simulation en RV essaie de se rapprocher le plus possible de la simulation cérébrale est que plus la simulation en RV se rapproche du modèle du cerveau, plus les individus se sentent présents dans le monde de la réalité virtuelle ». Je reviendrai ultérieurement sur le sentiment de présence.

Ces objectifs permettent d'exploiter la RV dans de nombreux domaines et ouvrent la porte à de nombreuses applications.

1.3. LES DIVERSES APPLICATIONS

La démocratisation et l'amélioration de la technologie permettent d'ores et déjà de nombreuses applications dans divers domaines. Vu que la particularité de la RV est de permettre à l'utilisateur de changer de temps, de lieu et/ou de type d'interaction, elle est exploitée à diverses fins : concevoir, apprendre, divertir, comprendre, contrôler... que ce soit dans la sphère entrepreneuriale, artistique ou de la vie quotidienne. Dans le cadre industriel, la RV permet, par exemple, à des ingénieurs de concevoir un nouvel outil et de vérifier son efficacité en mettant un ouvrier en situation d'utilisation. Elle est également utilisée depuis de nombreuses années pour l'apprentissage du pilotage d'avions et plus récemment, pour l'apprentissage de gestes chirurgicaux. Elle aide aussi à la compréhension du comportement humain lors d'études marketing, par exemple, en permettant d'analyser le sens du déplacement, l'orientation du regard... d'un client dans un supermarché afin de mieux mettre en valeur certains produits voire de modifier les habitudes des consommateurs. La RV entre dans nos écoles sous la forme de « serious games » qui rendent l'apprentissage plus ludique et plus motivant pour les élèves ou sur la base de vidéos à 360° qui servent de ressources pédagogiques actives. La RV est très utile dans l'évaluation de la pertinence de choix posés quant à l'ergonomie d'un poste de travail, de l'habitacle d'un véhicule. L'intérêt est de pouvoir apporter les modifications nécessaires avant la production. Et bien que certains logiciels permettent déjà la conception dans un environnement virtuel, cette option est, à l'heure actuelle, encore rarement utilisée. En effet, « *Tout concepteur préfère travailler assis et en immersion*

extéroceptive, c'est-à-dire, devant un écran d'ordinateur, plutôt que debout et en immersion proprioceptive » (Fuchs, 2018). Dès lors, les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) ont encore leur raison d'être.

Mais qu'en est-il dans le domaine de l'architecture ?

1.4. LES APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE L'ARCHITECTURE, DE LA CONSTRUCTION ET DE L'URBANISME

En 1996, John Briggs évoque en ces termes la place de la RV dans l'architecture : « *Virtual reality is already showing its potential in the architecture and construction industries. A building can be created as a navigable, interactive, and immersive experience while still being designed, so that both architect and client can experience the structure and make changes before construction begins* » (Briggs, 1996). « *La réalité virtuelle montre déjà son potentiel dans les secteurs de l'architecture et de la construction. Un bâtiment peut être créé comme une expérience interactive et immersive, dans laquelle on peut circuler, tout en étant encore en cours de conception, de sorte que l'architecte et le client peuvent expérimenter la structure et apporter des modifications avant le début de la construction* ». Briggs souligne, déjà à l'époque, l'enjeu de la RV dans le domaine de l'architecture et son potentiel quant à la communication entre le client et l'architecte sur les éventuelles modifications à apporter au bâtiment avant la construction. Bien que presque un quart de siècle nous sépare de son article, les choses évoluent lentement sur le terrain. Même si l'époque des plans, des coupes et des élévations sur papier n'est pas totalement révolue, les lignes bougent et l'utilisation du numérique s'invite de plus en plus dans le domaine de la construction comme le démontre l'enquête menée par la Confédération Construction : en 2017, seulement 4% des entreprises déclaraient travailler avec le BIM alors qu'en 2019, elles étaient 21% (Nouten, et al., 2020) soit 5 fois plus nombreuses. Les maitres d'ouvrage eux-mêmes requièrent des présentations plus vivantes que les formats papier pour pouvoir se projeter. Actuellement, diverses possibilités existent pour permettre aux architectes de sauter le pas et d'utiliser divers logiciels d'images de synthèse, dans les présentations de projets, tels que Twinmotion,

Lumion, SketchUp... Une étude menée à L'ULiège montre que 72,5% des architectes en Wallonie utilisent des logiciels de dessin numérique ou des modeleurs 3D en phase de conception (Stals, et al., 2016). Par contre, en ce qui concerne la RV, son utilisation reste actuellement limitée à un nombre restreint d'architectes. Lors d'une interview (communication personnelle, 14 janvier 2021), Monsieur Duyckaerts, fondateur de la société Nirli, spécialisée dans le développement d'expériences immersives au service des architectes et agences immobilières, souligne « *C'est vrai que j'avais vu l'adoption un peu plus rapide que ça* » et « *Dans les faits, ce sont plutôt des architectes avant-gardistes qui voulaient essayer et proposer un autre service à leurs clients.* » sinon, « *Pour les autres, au niveau des architectes, on a plutôt été mal accueillis, dans 90% des cas, parce qu'ils ne voyaient pas ça comme un outil intéressant pour eux* »(Nirli.eu). Pourtant, comme il le décrit dans un article de Trends Tendence, la RV est « *Un bon moyen de s'imaginer ce que donnera la hauteur du plafond ou la baie vitrée de vos rêves. Tout est à l'échelle, ce qui permet d'avoir la représentation exacte des proportions* » (Martin, 2018). Selon Fuchs (Fuchs, 2018), les principaux obstacles seraient d'ordre technique tels que la limitation du champ de vision, la téléportation, une perception des distances et des volumes faussées et le manque de précision du rendu de l'éclairage naturel. Mais la technologie avance à grands pas. Un autre frein serait-il que « *seuls 30% des architectes interrogés expriment l'envie que leurs clients s'investissent davantage au fil du projet* » (Mertens, et al., 2020) , comme mentionné dans une étude portant sur l'importance des premiers pas de la relation avec le client-habitant aux yeux des architectes ?



Figure 2 : Nirli, découvrir son futur chez soi en réalité virtuelle

Cependant, comme le montre l'étude menée auprès de bureaux d'architecture wallons, « *We still have to underline that the use of digital technologies decreases as the age increases, 23.7% of the designers aged 55 and more indeed declaring not using any digital tool, comparing to the 5.5% younger than 55 years old who do not use digital tools* » (Stals, et al., 2016). « *Il faut souligner que l'utilisation des technologies numériques diminue lorsque l'âge augmente, 23,7% des designers âgés de 55 ans et plus déclarant effectivement ne pas utiliser d'outil numérique, contre 5,5% de moins de 55 ans qui n'utilisent pas d'outils numériques* ». Dès lors, même si cette étude porte sur les outils numériques en général, on peut supposer que la jeune génération s'ouvrira aussi aux outils de RV.

1.5. LE MATÉRIEL ET SES CARACTÉRISTIQUES

Cette partie est consacrée au matériel qui peut être utilisé dans le cadre d'expériences de réalité virtuelle. Il s'agit des différentes sortes d'écrans et plus particulièrement du head-mounted display. Je vais décrire différentes caractéristiques à prendre en considération pour les casques de RV telles que les dispositifs de suivi et les degrés de liberté. Par la suite, j'aborde le champ de vision des écrans suivi par leur résolution et pour finir, j'explique l'ergonomie des casques actuels.

Les écrans de réalité virtuelle peuvent être individuels ou collectifs en fonction du nombre de participants qu'on souhaite immerger en même temps. Certains écrans sont complètement immersifs c'est-à-dire qu'ils isolent entièrement l'individu alors que d'autres sont des écrans portables avec une zone de visualisation plus restreinte. La réalité virtuelle peut donc être transmise au travers de plusieurs technologies. On peut citer entre autres (Gutierrez, et al., 2008) :

- les head-mounted displays qui sont des casques réputés pour leur faculté d'immersion complète,
- le Fish Tank VR qui est un système où l'individu ne peut pas interagir avec l'environnement virtuel mais juste l'observer,
- les écrans portables qui permettent une mobilité plus aisée de l'utilisateur,

- les grands écrans de projection qui font partie d'une approche semi-immersive qui permet d'emmener plusieurs personnes dans l'EV en même temps.
- les CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) qui sont un ensemble d'écrans plats de grandes dimensions recouvrant les murs, parfois le plafond et même le sol.

Nous allons ici nous concentrer sur les caractéristiques des casques de réalité virtuelle, soit les head-mounted displays qui sont l'outil qui allie le mieux immersion et interaction.

Les écrans les plus immersifs sont les « head-mounted displays » (HMDs) possédant deux petits écrans qui permettent une vision stéréoscopique. Afin d'augmenter l'immersion, la plupart des HMDs incluent une sortie audio et/ou des haut-parleurs ainsi qu'un dispositif de suivi pour changer les images perçues en même temps que l'utilisateur bouge la tête (Gutierrez, et al., 2008).

Les dispositifs de suivi (capteurs de localisation) servent donc à détecter tout changement d'angle, d'orientation et de position de l'utilisateur. Ainsi, « *This allows the user to « look around » a virtual environment simply by moving the head without needing a separate controller to change the viewpoint* » (Gutierrez, et al., 2008). « *Cela permet à l'utilisateur de « regarder autour » d'un environnement virtuel en déplaçant simplement la tête sans avoir besoin d'un contrôleur séparé pour changer le point de vue* ». Les dispositifs de suivi sont soit internes au casque (inside-out) soit positionnés en station dans l'espace (outside-in).

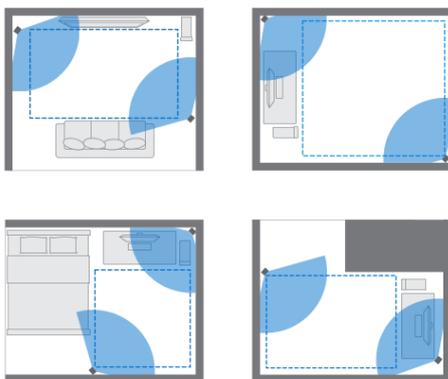


Figure 3 : Positionnement des capteurs outside-in



Figure 4 : Capteurs inside-out

Ces mêmes dispositifs de tracking sont possibles grâce aux capteurs de localisation sur les manettes afin de suivre les mouvements des mains mais également sur les doigts ou même sur l'ensemble du corps (motion capture ou mocap). De bons capteurs permettent d'avoir, principalement, un temps de latence réduit qui, pour rappel, est le temps entre l'action sur l'environnement virtuel et la réaction perçue via les interfaces sensorielles. Ils permettent aussi d'avoir une fréquence élevée de mesure des angles et des positions (Fuchs, 2018). Grâce à ces capteurs, on peut « tracker » différentes sortes de mouvements appelés degrés de liberté ou Degrees of Freedom (DoF).

Les degrés de liberté, au nombre de 3 ou de 6, permettent d'effectuer des mouvements dans 3 ou dans 6 directions différentes. Cela augmente l'interaction dans l'environnement virtuel (Jeanne, 2021). On peut les diviser en deux catégories : les mouvements de rotation autour des axes

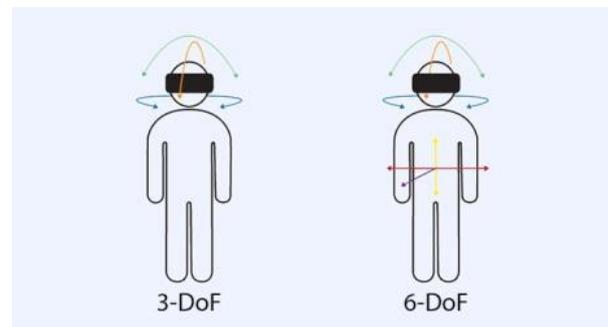


Figure 5 : Différence entre 3 DoF (rotation) et 6 DoF (rotation et translation)

X, Y et Z et les mouvements de translation le long de ces mêmes axes comme représenté sur la figure 5. Les casques possédant 3 DoF n'utilisent que les mouvements de rotation tandis que les casques à 6 DoF fonctionnent avec les deux catégories de mouvements. C'est donc avec un casque à 6 DoF que les mouvements dans l'environnement virtuel se rapprochent le plus de la réalité (Barnard, 2019).

En ce qui concerne le champ de vision des écrans, à l'heure actuelle, seul un HMD a réussi à atteindre celui de l'œil humain qui est d'approximativement 200° : le StarVR One atteint un champ de vision de 210°. Il est le fruit de la collaboration entre Acer et Starbreeze et est en vente depuis 2020 (Huvelin, 2020). Cependant, les autres casques du marché tentent de s'en rapprocher puisque actuellement, la plupart atteignent 110° (Jeanne, 2021). On peut cependant remarquer une nette progression puisqu'en 2008, le FOV (Field of View – champ de vision) des HMDs vacillait entre 25° et 45° (Gutierrez, et al., 2008). Néanmoins, il faut différencier ce qui est « vu » de ce qui est « perçu ». Ce qui est « vu », ce sont tous les stimuli captés par l'œil et ce qui est « perçu », c'est ce que

l'œil va interpréter consciemment. Dans le cas de la RV avec un HMD, l'utilisateur ne va pas percevoir les bords de l'image diffusés par les écrans bien que ceux-ci soient visibles puisque le champ de vision maximum pour le moment est de 110° et que l'homme ne tourne les yeux que de 10 ou 20 degrés horizontalement avant de tourner la tête (Fuchs, 2018).

La réalité virtuelle a pour objectif d'immerger le participant au maximum dans un environnement virtuel. Or, la technologie actuelle ne permet pas une immersion parfaite mais tente de s'en rapprocher au maximum. Nous venons juste d'aborder l'aspect concernant le champ de vision qui est réduit mais aussi, comme on le dit dans *Stepping into Virtual Reality*: « *The limited resolution [...] of most HMDs is an additional disadvantage when compared to other VR display technologies, such as fish tank VR (desktop-based VR), large projection screens, or CAVE systems* » (Gutierrez, et al., 2008). « *La résolution limitée [...] de la plupart des HMDs est un inconvénient supplémentaire par rapport aux autres technologies d'affichage VR, telles que la Fish Tank VR (VR de bureau), les grands écrans de projection ou les systèmes CAVE* ».

Les écrans des HMDs étant situés près des yeux, il est utile de prendre en considération deux variables : la résolution et la densité de pixels.

Lorsqu'on regarde les caractéristiques d'un casque, la résolution s'exprime le plus souvent en pixels par œil. Par exemple, pour l'Oculus Quest 2, elle s'élève à 1832X1920 pixels/œil. Plus le nombre de pixels est élevé, plus l'immersion de l'individu est elle aussi élevée et se rapproche du photoréalisme. Si cela n'est pas le cas, un effet grille (pixellisation) peut apparaître et ne pas être agréable à l'œil (Jeanne, 2021).

Or, comme l'objectif est de se rapprocher au maximum de la « résolution rétinienne » qui est le nombre de pixels que l'œil humain peut percevoir par degré, la résolution des écrans doit être mise en rapport avec le champ de vision. Il s'agit dès lors de la densité de pixels exprimée en ppd (pixels par degré). La capacité maximale de l'œil humain est de 60 ppd. Dès lors, il est inutile pour les techniciens d'essayer de pousser le nombre de pixels par degré au-delà de ce nombre puisque l'homme ne percevrait pas plus de détails, l'œil étant saturé (Boger, 2017).

Lorsqu'on se renseigne sur les casques VR du marché, la résolution de ceux-ci est, comme mentionné plus haut, le plus souvent exprimée en pixels par œil. Pour le transformer en pixels par degré afin de comparer la résolution des écrans avec la « résolution rétinienne », il suffit de diviser le nombre de pixels horizontaux d'un œil par le champ de vision que le casque offre (Boger, 2017). Ainsi, par exemple, pour l'Oculus Quest 2 qui possède une résolution de 1832x1920 pixels/œil et un champ de vision de 110°, la densité de pixels approximative est de 16,6 pppd soit près de 4 fois moins que la résolution rétinienne. Dès lors, des efforts peuvent encore être fournis par rapport à cette caractéristique.

Au même titre que les éléments cités précédemment, l'ergonomie du port du casque VR est également importante afin que l'utilisateur puisse oublier le dispositif et se concentrer sur l'expérience (Lombard, et al., 1997). Plusieurs aspects sont à prendre en considération. En premier lieu, le poids et la ventilation sont des caractéristiques déterminantes. Ensuite, les constructeurs font de nombreux efforts pour rendre l'utilisation aussi agréable et réaliste que possible. Dès lors, les casques s'adaptent aux différentes morphologies (grandeur, forme du crâne...) des utilisateurs mais aussi au port de lunettes de vue. Grâce à l'avancement technologique, de nombreux casques ne sont plus reliés par des câbles à un PC ou à une console. On les appelle les casques autonomes ou standalone. Ils permettent une plus grande liberté de mouvements.

En conclusion, le choix du matériel est déterminant dans la qualité de l'expérience vécue en environnement virtuel. Les visiocasques ont l'avantage majeur de l'ergonomie par rapport aux autres systèmes car ils sont transportables et peu encombrants. Ceci facilite les mouvements et les déplacements surtout si ce sont des HMDs autonomes. Les caractéristiques à prendre en considération sont le champ de vision, la résolution et la stéréoscopie. Par ailleurs, que ce soit pour les casques ou pour les interfaces telles que les manettes, la qualité du tracking et le temps de latence sont également des caractéristiques primordiales.

2. ASPECTS COGNITIFS

La perception de notre environnement est multi-sensorielle. Pour comprendre l'intérêt de la réalité virtuelle dans l'évaluation des dimensions et dans le sentiment de présence dans le cadre de projets architecturaux, il est pertinent de se pencher sur les aspects cognitifs influençant ces deux caractéristiques. Les catégories sensorielles humaines peuvent être divisées en trois :

- extéroception : sensibilité stimulée par des agents extérieurs à l'organisme (vue, ouïe, toucher...)
- intéroception : sensibilité provenant de l'intérieur du corps (viscères, muscles, tendons...)
- proprioception : « elle renseigne sur la position et les mouvements du corps et de ses membres par rapport à l'environnement extérieur » (Fuchs, 2018).

A l'heure actuelle, la réalité virtuelle a prioritairement recours à l'extéroception et à la proprioception pour immerger le corps humain dans un environnement virtuel. Deux distinctions peuvent être établies quant aux extérocepteurs. La première concerne le fait que certains extérocepteurs sont stimulés à distance (vue, ouïe et odorat) tandis que le goût et le toucher sont des récepteurs de contact. La deuxième distinction porte sur le type de phénomènes auxquels l'extéroception a recours : les phénomènes chimiques, actuellement non modélisables numériquement, tels que le goût et l'odorat alors que les phénomènes physiques sont modulables numériquement.

Extéroception	Extérocepteurs à distance	Récepteurs visuels
		Récepteurs auditifs
		Récepteurs olfactifs (chimiques)
	Extérocepteurs de contact	Récepteurs gustatifs (chimiques)
		Récepteurs tactiles
Proprioception	Viscérocepteurs	Récepteurs dans les viscères
	Propriocepteurs	Récepteurs vestibulaires
		Récepteurs musculaires
		Récepteurs articulaires
		Récepteurs tendineux

Figure 6 : Classification en partie erronée des sensations selon Sherrington

Le tableau ci-dessus, extrait de « *Théorie de la réalité virtuelle – Les véritables usages* » de Philippe Fuchs (Fuchs, 2018) résume les différentes sensations perçues par l'être humain selon Sherrington (Sherrington, 1906). Cependant, il doit être relativisé et on peut y ajouter des spécificités que Gibson a mises en évidence (Gibson, 1966). Par exemple, la vision périphérique détecte les déplacements du corps (proprioception) alors que la vue est à la base considérée comme un sens extéroceptif. Un autre exemple est la perception du poids d'un objet (extéroception) grâce aux muscles et tendons qui sont des récepteurs proprioceptifs (Gibson, 1966). Ceci peut provoquer des incohérences sensorimotrices entre autres dans la perception des distances. Dans ce chapitre, je me penche sur les aspects cognitifs au travers des deux variables dépendantes de mon expérience, à savoir la perception des distances et le sentiment de présence. Dans un premier temps, j'aborde la perception des distances avec l'impact de la perception visuelle. Ensuite, il est judicieux d'aborder le sentiment de présence sous les angles suivants : l'immersion, l'interaction et pour terminer, le fond et l'implication.

2.1. LA PERCEPTION DES DISTANCES

Un problème majeur lors de la revue de projet est la compréhension des dimensions par les maîtres d'ouvrage. Pour pallier cette difficulté, les architectes ont recours à divers outils pour présenter leurs idées, leurs intentions. Il peut s'agir d'outils classiques tels que des croquis, des dessins, des plans à l'échelle, des perspectives, des maquettes physiques... avec ou sans prise en considération de l'environnement. Leurs principales limites sont une vue statique du projet et l'impossibilité de le visiter. De plus, l'apport de modifications génère un coût important. Actuellement, l'utilisation de la Conception Assistée par Ordinateur, CAO, est généralement répandue. Cette technique permet une représentation tridimensionnelle sur ordinateur et une approche évolutive qui facilite l'apport d'un nombre notable de modifications. La visualisation tridimensionnelle et l'utilisation du clavier et/ou de la souris facilitent les déplacements à l'intérieur de la maquette. Néanmoins, les limites de ces techniques restent l'échelle, l'évaluation des dimensions et la perception de la profondeur. Or, la RV offre, avant tout, une visualisation à l'échelle 1:1 mais aussi plus de réalisme, une interaction intuitive et une

immersion dans la maquette. Elle permet également de détecter des problèmes difficilement identifiables en 2D tels que la taille des fenêtres, des portes, la hauteur des murs et garde-corps... Par conséquent, l'efficacité de la RV dépend de la capacité des utilisateurs à évaluer les dimensions dans cet environnement. De nombreuses expériences ont été menées pour mettre en exergue les facteurs qui influencent la perception des distances en EV. Cependant, il n'est pas évident de recouper les diverses informations qui en résultent, vu que les conditions expérimentales divergent notamment sur les dispositifs d'affichage et l'utilisation ou non de la stéréoscopie.

2.1.1. LE SYSTÈME VISUEL HUMAIN

Selon une étude menée par Hatwell en 1994, la perception des informations par un sujet voyant s'appuie à 83% sur la vision, 11% sur l'audition, 3,5% sur l'odorat, 1,5% sur le toucher et 1% sur le goût (Hatwell, 1994).

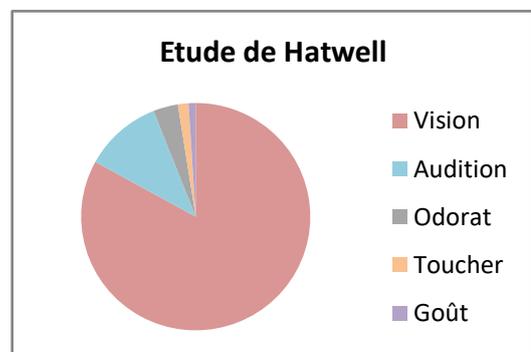


Figure 7 : Graphique de la distribution de l'utilisation des sens dans la perception d'informations par un sujet voyant selon Hatwell

Chez l'être humain, les images sont capturées par les deux récepteurs sensoriels que sont les yeux, qui sont en

mouvement permanent pour percevoir ce qui nous entoure. Les deux images qui sont captées par la rétine de l'œil droit et de l'œil gauche sont envoyées au cerveau via le nerf optique pour être fusionnées et ne plus former qu'une seule image. L'écart entre les deux yeux est un élément déterminant à prendre en considération dans le cadre de la RV et plus particulièrement dans la conception des HMD (Head-mounted Display). L'information prise en considération est l'IPD (Interpupillary distance) qui varie en fonction de l'âge, du genre et de la race. La majorité des adultes ont un IPD qui varie entre 50mm et 75mm avec une moyenne de 63mm et des extrêmes allant jusqu'à 45-80mm (Dodgson, 2004).

Un autre élément intéressant à prendre en considération est le champ de vision. L'être humain bénéficie d'une vision binoculaire qui lui donne l'avantage d'avoir un champ de vision plus large et une vision stéréoscopique qui lui permet d'apprécier les distances. Le champ de vision se définit comme étant « *that portion of space in which objects are visible at the same moment during steady fixation of gaze in one direction* » (Spector, 1990). « *cette partie de l'espace dans laquelle les objets sont visibles au même moment pendant la fixation constante du regard dans une direction* ». Il se subdivise en plusieurs parties. Dans un premier temps, le champ de vision monoculaire qui inclut la vision centrale (30 degrés) et la vision périphérique. Celle-ci couvre une vision de 100 degrés latéralement, 60 degrés au milieu, 60 degrés vers le haut et 75 degrés vers le bas (Spector, 1990). En tenant compte du fait que les champs de vision des deux yeux se superposent partiellement, le champ de vision global humain est de 200 degrés horizontalement et 135 degrés verticalement.

2.1.2. LA PERCEPTION VISUELLE

Le traitement cognitif de divers indices permet à l'être humain d'estimer des distances, des dimensions, la position d'objets... Ces indices peuvent être classés en trois catégories. La première regroupe les indices proprioceptifs alors que la deuxième comprend les indices visuels et la troisième aborde l'indice dynamique.

2.1.2.1. LES INDICES PROPRIOCEPTIFS

Les indices proprioceptifs sont basés sur deux principes que sont la convergence et l'accommodation. Ils sont tous deux liés à la vision binoculaire.

La convergence est utilisée pour transmettre des informations sur la profondeur à partir des images perçues par les deux yeux et qui diffèrent légèrement l'une de l'autre. L'écart entre les deux yeux implique que le cerveau reçoit deux images décalées horizontalement (Kaeser, et al., 2012). La fusion des deux images (A et B dans la figure ci-dessous) aboutit à l'annulation de la disparité pour obtenir la

perception d'un objet unique (C) et la sensation tridimensionnelle est obtenue grâce au cortex visuel. Ce phénomène donne lieu à la perception de profondeur relative, c'est le principe de la stéréopsie, appelée aussi stéréoscopie. L'efficacité de la disparité binoculaire pour l'estimation des distances relatives est meilleure pour un environnement proche et diminue avec la distance (Epstein, et al., 1995).

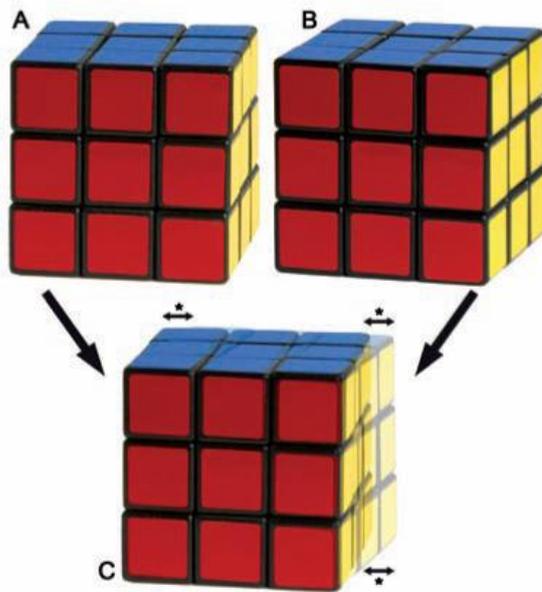


Figure 8 : Illustration du principe de la stéréopsie

Par ailleurs, l'accommodation consiste en un processus qui permet d'ajuster la vision de telle sorte que l'objet observé apparait net alors que la vision périphérique est plus ou moins floue. L'accommodation est réalisée par le cristallin. En absence d'objet à observer, l'être humain a tendance à accommoder sa vision à une distance de 75 cm (Patterson, 2007). La perception d'éléments flous accentue l'impression de profondeur.

2.1.2.2. LES INDICES VISUELS

Les indices visuels peuvent être classés en plusieurs catégories :

- La taille relative : plus l'objet est loin et plus sa taille décroît.
- L'occultation : si un objet occulte un autre, ça permet au cerveau de se rendre compte de la position relative en profondeur des objets, c'est un indice visuel de distance relative.

- Le gradient de texture : plus la texture est proche plus elle est perçue nettement. Ceci donne une information complémentaire sur la profondeur.
- Les ombres : l'apport de lumière et les ombres des objets et sur les objets améliorent la perception du relief.
- La perspective : elle donne des informations de l'ordre de l'espace tridimensionnel telles que le sol, les murs, les plafonds... Elle est utilisée aussi pour donner de la profondeur à des représentations en deux dimensions telles que des peintures, des fresques...

2.1.2.3. L'INDICE DYNAMIQUE

Les indices visuels préalablement décrits varient en fonction de la position et des mouvements de l'observateur. S'il se déplace (translation) ou tourne (rotation), la quantité d'informations perçues augmente. Un autre indice majeur intervient dans la perception des distances :

La parallaxe de mouvement : lorsque l'observateur se déplace dans une scène, les objets à l'avant de la scène se déplacent dans la direction opposée à son déplacement. Par exemple, si l'observateur se déplace vers la droite, les éléments situés à l'avant du point de fixation se déplacent vers la gauche alors que les objets à l'arrière se déplacent vers la droite.

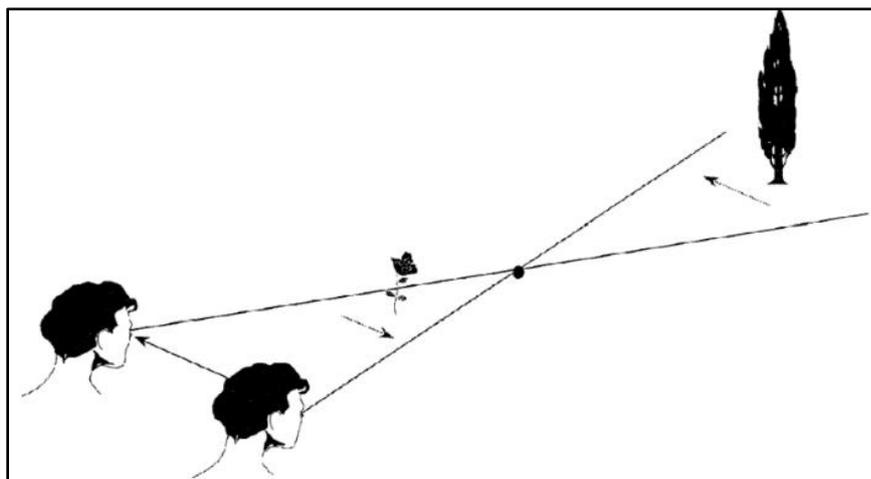


Figure 9 : Illustration du phénomène de parallaxe de mouvement

« When the observer moves his/her head from right to left while fixating a stationary point (c), the image of the flower in the foreground moves from the left to the right relative to the line of sight. The image of the tree in the background moves from the right to the left, relative to the line of sight. The nearer object (flower) then appears to move in the opposite direction of head movement, whereas the distant object (tree) appears to move in the same direction as the head » (Guerraz, et al., 2001).

« Lorsque l'observateur bouge la tête de la droite vers la gauche en fixant un point fixe (c), l'image de la fleur en avant-plan se déplace de gauche à droite par rapport à la ligne de mire. L'image de l'arbre en arrière-plan se déplace de la droite vers la gauche, par rapport à la ligne de mire. L'objet le plus proche (fleur) semble alors se déplacer dans la direction opposée au mouvement de la tête, tandis que l'objet éloigné (arbre) semble se déplacer dans la même direction que la tête. »

De même, si l'observateur se déplace vers l'avant, les objets de la scène se déplacent, quant à eux, vers l'arrière.

L'indice dynamique constitue dès lors également un indice très important dans l'estimation des distances, des dimensions et des profondeurs. Il est intimement lié à la qualité des capteurs de mouvements, qu'ils soient positionnés sur le casque, sur les manettes ou sur n'importe quelle autre partie du corps.

2.2. LE SENTIMENT DE PRÉSENCE

Tout d'abord, pourquoi est-il important de se pencher sur le sentiment de présence ?

« In our view, presence is important because the greater the degree of presence, the greater the chance that participants will behave in a VE in a manner similar to their behaviour in similar circumstances in everyday reality » (Slater, et al., 1997). « À notre avis, la présence est importante car plus le degré de présence est élevé, plus il y a de chances que les participants se comportent dans un EV d'une manière similaire à leur comportement dans des circonstances similaires dans la réalité quotidienne ». En effet, dans le cadre de la revue de projet en architecture, il est avantageux que le maître d'ouvrage puisse se projeter lors de la visite de l'habitation en RV. C'est pourquoi le sentiment de présence est un élément particulièrement important à aborder.

Le sentiment « d'être là » : Initialement utilisée par Reeves en 1991, cette expression « being there » est évoquée, explicitement ou implicitement, dans de nombreuses définitions qui existent pour le sentiment de présence. Cependant, il est intéressant de se pencher sur les précisions, les subtilités qu'apportent les quelques définitions suivantes :

- « ... *presence in a virtual environment necessitates a belief that the participant no longer inhabits the physical space but now occupies the computer generated virtual environment as a 'place'* » (Barfield, et al., 1993). « ...*la présence dans un environnement virtuel nécessite que le participant croie qu'il n'habite plus l'espace physique mais occupe maintenant l'environnement virtuel généré par l'ordinateur comme étant un « endroit »*».
- « *Presence is defined as the subjective experience of being in one place or environment, even when one is physically situated in another* » (Witmer, et al., 1998). « *Le sentiment de présence est défini comme l'expérience subjective d'être dans un endroit ou un environnement même si on est physiquement dans un autre* ».
- « *When you are present your perceptual, vestibular, proprioceptive, and autonomic nervous systems are activated in a way similar to that of real life in similar situations* » (Slater, 2003). « *Lorsque vous êtes présent, vos systèmes nerveux perceptuels, vestibulaires, proprioceptifs et autonomes sont activés d'une manière similaire à celle de la vie réelle dans des situations similaires* ».
- « *le sentiment authentique d'exister dans un monde autre que le monde physique où le corps se trouve* » (Bouvier, 2009).
- « ...*the sense of presence : the feeling of « being there » inside the virtual experience produced by the technology* » (Riva, 2020). « ... *le sentiment « d'être là » dans une expérience virtuelle produite par la technologie* ».

Bien que presque 3 décennies séparent la définition de Barfield de celle de Riva, les cinq définitions expriment le sentiment de vivre une expérience dans l'environnement virtuel comme dans la vie réelle. Lorsqu'un individu expérimente la réalité virtuelle, il a le sentiment de « quitter » le monde réel et de « basculer » vers l'environnement artificiel. Ses sens extéroceptifs et proprioceptifs lui permettent de voir, d'entendre... de se percevoir au centre de l'environnement virtuel. L'immersion visuelle et auditive est déjà ressentie lorsqu'on regarde un film au cinéma, à la télévision ou lors de jeux vidéo. Il

s'agit de l'immersion à distance ou immersion extéroceptive. L'élément plus impactant dans la RV et plus particulièrement avec l'utilisation de casques ou autre matériel tel que des manettes, est l'immersion corporelle. Celle-ci est du ressort de la proprioception et de la position du corps dans l'espace, des mouvements, des déplacements. Ceci est d'autant plus important qu' « on ne peut pas percevoir son corps simultanément dans l'environnement réel et dans l'environnement artificiel » (Fuchs, 2018). Les personnes sont davantage conscientes des stimuli extéroceptifs que proprioceptifs. Elles décrivent plus volontiers ce qu'elles voient, entendent que ce qu'elles ressentent. Bien que dans d'autres utilisations, l'utilisateur puisse avoir différents statuts (spectateur, figurant...), dans le cadre des applications professionnelles, le rôle le plus fréquemment utilisé est celui de l'individu en immersion proprioceptive, à la première personne. L'utilisateur se sert de ses sens pour capter les différents stimuli et il se construit une représentation mentale de l'EV. Mais au-delà de ce qu'il perçoit, les possibilités d'actions renforcent son sentiment de présence. Un autre élément susceptible d'améliorer le sentiment de présence apparaît lorsque l'utilisateur n'a plus conscience de l'existence de la technologie mise en place pour simuler l'EV. Lombard et Ditton définissent cet état comme « *the perceptual illusion of nonmediation* » (Lombard, et al., 1997) « *l'illusion perceptive de non-médiation* ». Ce dernier point implique que plus l'utilisateur se sent dans le monde virtuel, moins il se sent dans le monde réel (Slater, et al., 1994).

Biocca, lui, ajoute un troisième pôle au sentiment de présence : l'espace imaginaire (Biocca, 2003). Il prend en considération, notamment, le phénomène nommé « The book problem » selon lequel une personne peut se sentir présente dans un environnement autre que son environnement physique uniquement en lisant un livre, alors qu'aucun facteur sensorimoteur n'est activé. Dès lors, selon Biocca, le sentiment de présence dépend de trois pôles comme illustrés ci-dessous et laisse une place à l'imagerie mentale notamment influencée par le fond (le contenu) de l'EV.

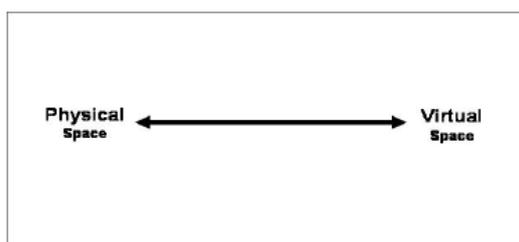


Figure 10 : Représentation, à deux pôles, du sentiment de présence initialement utilisée



Figure 11 : Représentation, à trois pôles, du sentiment de présence selon Biocca

Bien que tous les scientifiques ne s'accordent pas sur l'importance à octroyer aux différents paramètres influençant le sentiment de présence, il en ressort que trois aspects sont intéressants et à prendre en considération dans le cadre de ce travail : l'immersion, l'interaction et le fond.

2.2.1. L'IMMERSION

Initialement, il y avait confusion entre les termes « immersion » et « sentiment de présence », les deux étant utilisés sans discernement. Avec le temps, la distinction s'est établie tout en conservant un lien entre les deux : « *Presence is a human reaction to immersion* » (Slater, 2003). « *Le sentiment de présence est une réaction humaine à l'immersion* ».

En 1997, Slater et Wilbur définissent l'immersion de la sorte : « *Immersion is a description of a technology, and describes the extent to which the computer displays are capable of delivering an inclusive, extensive, surrounding, and vivid illusion of reality to the senses of a human participant* » (Slater, et al., 1997). « *L'immersion est la description d'une technologie, et décrit dans quelle mesure les écrans d'ordinateur sont capables de fournir, aux sens d'un participant humain, l'illusion de la réalité qui soit inclusive, vaste, environnante et vivante* ». Pour comprendre sans ambiguïté la définition, il est nécessaire de reprendre les éclaircissements apportés par Slater et Wilbur (Slater, et al., 1997) aux différents termes traduits par mes soins :

- « *Inclusive : indique dans quelle mesure la réalité physique est exclue.* »
- « *Extensive : indique la gamme des modalités sensorielles incluses.* »

- « *Surrounding* : indique dans quelle mesure cette réalité virtuelle est panoramique plutôt que limitée à un champ étroit. »
- « *Vivid* : indique la résolution, la fidélité et la variété d'énergie simulée dans une modalité particulière (par exemple, la résolution visuelle et des couleurs). »

Pour illustrer le terme « inclusive », en vue d'exclure autant que possible la réalité physique, le matériel utilisé en RV se fait de plus en plus discret ; par exemple, les casques sont de plus en plus légers. « Surrounding » prend tout son sens lorsqu'on aborde le champ de vision de plus en plus large (voir partie I – 1.5.).

Cette définition implique clairement l'impact des moyens technologiques mis en œuvre et leurs performances sur l'immersion. Le but est que l'utilisateur soit plongé dans l'EV et déconnecté de l'environnement réel afin que les informations perçues dans l'EV se substituent aux informations sensorielles issues de l'environnement physique.

Pour ce faire, divers facteurs favorisent l'immersion :

- Les distractions potentielles du monde réel : plus elles sont réduites plus l'immersion est optimisée (Wang, et al., 2006).
- La stimulation des différents sens de l'individu : dans l'environnement réel, l'homme est habitué à une stimulation multisensorielle. Dès lors, plus le nombre de sens stimulés est élevé, plus l'EV est perçu comme réel, ce qui aboutit à une meilleure compréhension de l'environnement.
- Le champ de perception omnidirectionnelle : d'un point de vue tant visuel qu'auditif, plus l'utilisateur peut élargir le champ de perception sans percevoir l'environnement physique, meilleure est l'immersion.
- L'immersion égocentrique : ceci consiste en une immersion à la première personne, sans avatar. Dans ce cadre, il est nécessaire que le suivi des mouvements de l'utilisateur soit optimum et que les stimuli s'adaptent rapidement en fonction des déplacements et de l'orientation dans l'EV.
- La cohérence entre les stimuli : toutes les informations de l'EV doivent être cohérentes d'un point de vue tant spatial que temporel.

Voici une autre définition de l'immersion : « *Immersion is a psychological state characterized by perceiving oneself to be enveloped by, included in, and interacting with an environment that provides a continuous stream of stimuli and experiences* » (Witmer, et al., 1998). « *L'immersion est un état psychologique caractérisé par le fait de se percevoir comme enveloppé par, inclus dans et en interaction avec un environnement qui fournit un flux continu de stimuli et d'expériences* ». Il apparaît, que contrairement à Slater, Witmer et Singer ne se focalisent pas que sur l'aspect technologique pour définir l'immersion. Ils y incluent la notion d'interaction abordée ci-dessous.

2.2.2. L'INTERACTION

Comme le démontre déjà l'expérience de Welch en 1996, l'interaction améliore le sentiment de présence (Welch, et al., 1996). Donner la possibilité à l'utilisateur d'interagir avec l'EV revient à lui donner un rôle, à le rendre acteur de l'expérience qu'il vit au sein de l'EV. C'est également lui permettre d'intervenir sur le contenu.

Selon plusieurs recherches (Bowman, 1999) (Hand, 1997), différentes actions peuvent être identifiées : la sélection, la manipulation, le contrôle de système et la navigation. Dans ce travail, ces actions peuvent être appréhendées de diverses manières et plus particulièrement dans le cadre de l'utilisation de la RV en architecture. En effet, la sélection et la manipulation sont des actions utiles notamment au niveau de la création et de la modification de projets. (Voir Partie I – 1.4.) Le contrôle de système a un impact sur le sentiment de présence dans le sens où le client peut, par exemple, choisir le moment de la journée auquel il effectue la visite, le degré de luminosité...

La navigation constitue une des actions majeures. Elle donne la possibilité de se déplacer ou plus précisément de déplacer le point de vue de l'utilisateur au sein de l'EV. Elle est rendue possible en utilisant :

- des interfaces qui consistent en la simulation de la marche sans qu'il y ait de déplacement dans l'environnement physique telles que représentées ci-dessous.

- un système de tracking des déplacements physique de l'utilisateur dans une zone donnée (Voir Partie I – 1.5.).
- un système de tracking du déplacement de la tête et du regard de l'utilisateur.
- une souris, un clavier, un joystick ou des manettes pour téléporter l'utilisateur.

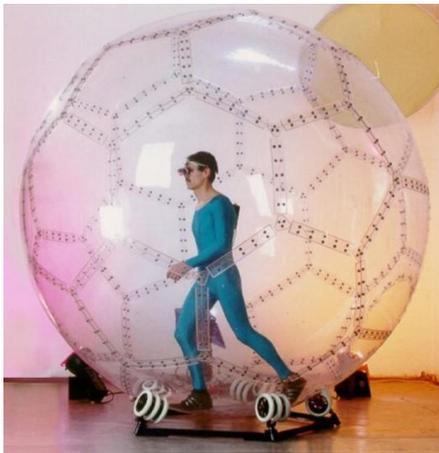


Figure 12 : VirtuSphere

L'élément important dans le cadre de l'interaction et de son impact sur le sentiment de présence est que les sensations proprioceptives soient en accord avec les informations perçues par les autres sens. Slater et Usoh le confirment de la sorte : « *The fundamental idea is that interaction techniques that maximise the match between proprioceptive and sensory data will maximise presence, within the constraints imposed by the display and tracking systems* » (Slater, et al., 1999). « *L'idée fondamentale est que les techniques d'interaction qui maximisent la correspondance entre les données proprioceptives et sensorielles maximisent la présence, dans les contraintes imposées par les systèmes d'affichage et de suivi* ». Par ailleurs, Bouvier attire l'attention sur l'importance de la concordance entre les sensations proprioceptives du soi virtuel et les sensations proprioceptives du soi réel (Bouvier, 2009). Tant l'idée de Slater et Usoh que celle de Bouvier, peuvent être illustrées par l'exemple d'un client se déplaçant de manière virtuelle pour visiter une habitation et dont les mouvements de marche, de déplacement de la tête sont effectués de manière proprioceptive dans le monde physique et ressentis de manière proprioceptive dans l'EV.

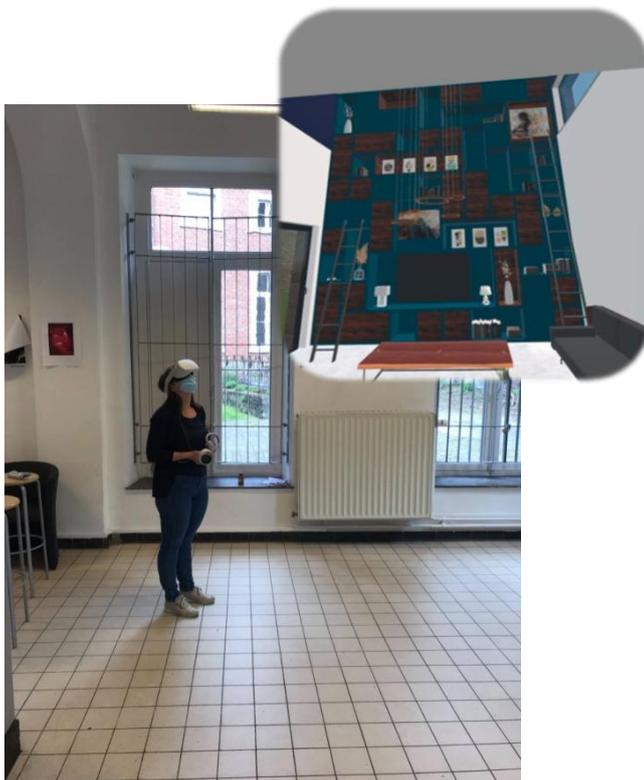


Figure 13 : Concordance entre les sensations proprioceptives du soi virtuel et du soi réel

Des caractéristiques précédemment évoquées telles que le temps de latence (voir Partie I – 1.5.) et le concept de non médiation (voir Partie I – 2.2.) ont une influence sur l'impact que les interactions ont sur le sentiment de présence. Par rapport au concept de non médiation, l'ergonomie, la transparence et la facilité d'usage du matériel rendent les actions plus naturelles. Par ailleurs, si le matériel nécessite des instructions avant qu'on puisse le prendre en main, la longueur et la complexité des explications sont autant d'obstacles au sentiment de présence puisque pendant ce temps, l'utilisateur focalise son attention sur le matériel et sa manipulation plutôt que sur l'expérience.

Dès lors, comme le précisent Slater et Usoh ci-après, il n'est pas utile de multiplier et de complexifier le matériel mis à la disposition de l'utilisateur pour obtenir des résultats probants entre interaction et sentiment de présence. *« However, even with just the HMD tracker and glove or hand-held 3D mouse, quite a large number of different, intuitively appealing whole body gestures can be defined »* (Slater, et al., 1999). *« Cependant, même juste avec les trackers sur le HMD et des gants ou des souris 3D tenues en main, une quantité assez large de gestes du corps entier,*

différents et intuitivement attirants peuvent être définis ». C'est d'autant plus le cas que la technologie a considérablement évolué et met à la disposition des professionnels de nombreux secteurs le matériel le plus approprié et notamment des logiciels spécifiques à l'architecture facilitant la prise en main de la RV dans ce domaine.

2.2.3. LE FOND ET L'IMPLICATION

Dans les deux points précédents, les aspects technologiques occupent une position centrale avec l'influence de l'immersion et de l'interaction sur le sentiment de présence. Or, deux autres aspects impactent le sentiment de présence : le fond et l'implication. Le fond comprend le contenu et regroupe les objets et les personnes présentes dans l'EV mais aussi les événements qui s'y déroulent. Tandis que l'implication se rapporte plutôt à l'engagement de l'utilisateur dans l'expérience, à l'intérêt qu'il porte au contenu et aux émotions suscitées.

Diverses approches existent en la matière. Slater préconise de complètement distinguer sentiment de présence et réponses émotionnelles, le sentiment de présence étant uniquement lié aux aspects fonctionnels, comme notamment l'immersion, et l'interaction et non à un contenu émotionnel. D'autres considèrent les émotions comme un facteur influençant le sentiment de présence.

En ce qui concerne le fond, le réalisme de la scène joue un rôle déterminant. Bien qu'elle ne nécessite pas de comporter des éléments du monde réel, la qualité de la représentation influence le sentiment de présence. En ce qui concerne le réalisme de la scène, Witmer précise « *Presence should increase as a function of VE scene realism (as governed by scene content, texture, resolution, light sources, field of view (FOV), dimensionality, etc.)* » (Witmer, et al., 1998). « *La présence devrait augmenter en fonction du réalisme de la scène de l'EV (tel que régi par le contenu de la scène, les textures, la résolution, les sources lumineuses, le champ de vision (FOV), la dimensionnalité, etc.)*. »

Witmer et Singer considèrent que le sentiment de présence est influencé tant par l'immersion que par l'implication dont voici leur définition : « *Involvement is a psychological state experienced as a consequence of focusing one's energy and attention on a coherent set of stimuli or meaningfully related activities and events* » (Witmer, et al., 1998). « *L'implication est un état psychologique vécu comme la conséquence de la concentration de son énergie et de son attention sur un ensemble cohérent de stimuli ou d'activités et d'événements significativement liés* ». Ils considèrent que l'implication peut être ressentie avec d'autres supports que la RV. Par exemple, il est possible de se sentir impliqué dans une histoire en lisant un livre ou en regardant un film. Bouvier (Bouvier, 2009) pense également que l'immersion et l'interaction ne suffisent pas à susciter un sentiment de présence sur le long terme et que tout au plus, elles provoquent un effet de surprise au moment où l'utilisateur entre dans la RV. Ceci peut se traduire par un haut sentiment de présence qui ne perdure pas si l'intérêt de l'utilisateur n'est pas stimulé par une expérience porteuse d'émotions. De plus, l'expérience, pour capter l'attention de l'utilisateur, doit avoir un sens. C'est également le cas lors de la visite virtuelle d'une habitation.

Witmer and Singer précisent que « *...the amount of involvement will vary according to how well the activities and events attract and hold the observer's attention* » (Witmer, et al., 1998). « *...le degré d'implication variera selon la façon dont les activités et les événements attirent et retiennent l'attention de l'observateur* ».

Dès lors, il serait utile, dans le cadre de l'architecture, de savoir si le fond a un impact sur l'implication des utilisateurs et par conséquent sur leur sentiment de présence lors de la visite d'une habitation en RV.

PARTIE II – EXPERIENCE

PARTIE II – EXPERIENCE

1. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie de l'expérience que je mets en place a pour objectif de répondre à mon hypothèse, à savoir : **le degré de réalisme de la visite virtuelle d'une habitation impacte l'évaluation des dimensions ainsi que le sentiment de présence**. Ceci implique que les participants vont visiter une habitation en environnement virtuel puis répondre à un questionnaire suivi d'un entretien.

Dans ce chapitre, j'explique pourquoi j'ai recruté les participants au sein des étudiants de bac 1 de la faculté d'architecture de l'ULiège. En deuxième lieu, j'explique l'approche technique : le logiciel que je choisis d'utiliser, le casque de réalité virtuelle, la création de l'habitation pour laquelle je détermine les quatre différents degrés de réalisme qui sont une maquette blanche non meublée, une maquette blanche meublée, une maquette texturée non meublée et une maquette texturée meublée. Ensuite, je réalise le questionnaire et le canevas de l'entretien. Bien que je choisisse de privilégier l'approche qualitative à l'approche quantitative pour les raisons temporelle et matérielle, je souhaite que l'enquête comporte à la fois une démarche par entretien qui permet une approche plus nuancée et une démarche par questionnaire qui privilégie une analyse standardisée car, comme le mentionne de Sardan « *L'éclectisme des sources a un grand avantage sur les enquêtes basées sur un seul type de données* » (de Sardan, 2003). De plus, la triangulation des données récoltées est la base de toute enquête. Après cela, j'explique la mise en place de l'expérience. Et je termine en décrivant la procédure de l'expérience.

1.1. LE PUBLIC CIBLE

L'échantillon est un groupe restreint à partir duquel on tente de généraliser les résultats. La contrainte « temps » mentionnée ci-avant, à savoir 30 minutes par personne sur 5 jours, limite l'échantillon en quantité. Ensuite, pour limiter l'impact de variables

indépendantes invoquées, je choisis de recruter les participants au sein du groupe d'étudiants de bac 1 de la faculté d'architecture de l'ULiège. Ce choix permet d'homogénéiser quelque peu le profil quant à la tranche d'âge qui se situe entre 18 et 23 ans, et le niveau d'études. Le groupe se subdivise en 24 filles et 16 garçons. Le panel n'a pour objectif de représenter ni les architectes ni les maîtres d'ouvrage mais de limiter les variables indépendantes invoquées et de se focaliser sur l'impact des variables indépendantes provoquées (degrés de réalisme) sur les variables dépendantes (dimensions et sentiment de présence). Les participants, au nombre de 40, sont recrutés sur base volontaire au moyen des réseaux sociaux tels que les groupes constitués sur Facebook et de contacts établis grâce au cercle « archi » dont je fais partie. Il n'est pas nécessaire qu'ils aient des pré-requis ni une quelconque expérience en RV. A contrario, une expérience même au travers de jeux n'est pas un frein à la participation. Le groupe est réparti en 4 sous-groupes de manière aléatoire comme décrit dans la procédure.

1.2. L'APPROCHE TECHNIQUE

1.2.1. LE CHOIX DU LOGICIEL

Le choix du logiciel est un élément important pour la suite du processus. En effet, en comparant différents sites et en recueillant différents avis, je me suis fait une première idée sur les logiciels disponibles. Cependant, c'est en les testant que je me suis fait ma propre opinion sur les capacités de chacun et sur l'opportunité d'utiliser l'un plutôt que l'autre. Les 3 logiciels les plus connus pour la réalité virtuelle sont SketchUp Viewer, Unity et Prospect by IrisVR.



Figure 14 : Logo de SketchUp Viewer



Figure 15 : Logo de Unity



Figure 16 : Logo de Iris VR

Dans un premier temps, SketchUp Viewer me semble être une option relativement proche de mes compétences puisque j'utilise couramment SketchUp pour des rendus 3D architecturaux. Cependant, le prix de la licence constitue un problème majeur et il

n'est pas possible d'obtenir une licence gratuite ni une période d'essai supérieure à 30 jours. En contactant une société qui vend SketchUp pro (qui permet d'utiliser la VR), un conseiller m'a recommandé d'autres logiciels similaires à SketchUp Viewer tels que Kubity et Enscape. Malheureusement, ils ne sont pas compatibles avec la plupart des casques VR.

Dans un second temps, la plateforme de développement Unity m'a été conseillée à plusieurs reprises. Cette plateforme permet en effet de développer sa ou ses propres applications que ce soit pour des jeux vidéo mais aussi pour créer une expérience immersive dans des projets d'architecture. Ce logiciel est gratuit et accessible à tous. Dans un troisième temps, Prospect by Iris VR s'avère être aussi un logiciel de RV directement lié à l'architecture. Une ombre au tableau de ce logiciel : le coût. Après une période d'essai de 14 jours, la licence individuelle revient à 225\$/mois (IrisVR).

Une fois ces informations recueillies, une comparaison et un choix doivent être faits. J'ai d'abord téléchargé les 3 logiciels afin de les tester et j'ai envoyé des mails à SketchUp Viewer et Iris VR ainsi qu'à leurs revendeurs afin d'obtenir une licence gratuite ou une réduction « étudiant » le temps de mon travail de fin d'étude. Comme mentionné ci-dessus, je n'ai pu obtenir de licence pour l'utilisation de SketchUp Viewer. En ce qui concerne Unity, sur les conseils de Quentin Valembois, assistant à l'ULiège, faculté des sciences, je me suis essayée à prendre en main cette plateforme. Cependant, elle est chronophage et peu intuitive au démarrage. En effet, vu qu'elle propose de multiples fonctions, sa complexité nécessite de consulter de nombreux tutoriels avant d'obtenir un résultat probant. En parallèle, j'ai très vite aimé travailler avec Prospect by Iris VR qui s'est avéré être un logiciel très intuitif et facile d'utilisation. Sur la base de ces critères et ayant obtenu une prolongation gratuite de 6 mois de ma période d'essai par Iris, je me suis focalisée sur l'utilisation de Prospect by Iris VR. Ce choix me permet aussi de respecter la deadline que je me suis fixée, à savoir, finaliser les maquettes pour pouvoir mobiliser les participants à l'expérience avant leurs examens de juin.

1.2.2. LE CHOIX DU CASQUE

Pour choisir le casque le plus approprié à mon expérience, j'ai parcouru les fiches techniques de l'ensemble du matériel disponible sur Internet (Jeanne, 2020) (Oculus) (Vive) (PlayStation). J'ai immédiatement écarté les casques « Cardboard » utilisant des smartphones tels que le Samsung Gear VR vu que leurs capacités sont limitées. Ensuite, différents critères entrent en ligne de compte tels que le budget, la résolution d'écrans, le taux de rafraîchissement, le DoF (Degree of freedom)... dont j'ai décrit les spécificités dans l'état d'art (voir Partie I – 1.5.). Dans le cas des casques « standalone », il est important de prendre aussi en considération le processeur, la mémoire vive et la mémoire de stockage, voire la possibilité d'ajouter des cartes mémoire. Sur la base des informations collectées figurant dans le tableau en annexe (voir annexe 3 : Tableau comparatif des casques VR), j'ai sélectionné les casques Oculus Quest, Oculus Quest 2 et Oculus Rift S.



Figure 17 : Oculus Quest



Figure 18 : Oculus Quest 2



Figure 19 : Oculus Rift S

En concertation avec Monsieur Hallot, mon promoteur, il est convenu d'acquérir l'Oculus Quest 2 que l'ULiège met gracieusement à ma disposition tant pour la période de préparation que pour le temps de l'expérience. Ce casque a la particularité d'être autonome ou filaire, c'est-à-dire qu'on peut l'utiliser avec ou sans câble le reliant à un ordinateur en fonction de l'usage qu'on souhaite en faire. Dans le cadre de cette étude, il est plus judicieux de choisir la fonction autonome puisque cela permet aux participants de se déplacer librement dans un espace plus large et de ne pas être dépendant de la longueur du câble.

Le casque choisi possède un système de tracking inside-out. Comme expliqué dans l'état d'art (voir Partie I – 1.5.), ce système signifie que le tracking se fait à l'intérieur même du casque et non grâce à des stations de base. Dès lors, le système est moins

contraignant quant à sa configuration, son installation ou pour la vérification rapide des rendus.

En ce qui concerne l'ergonomie, je viens d'énoncer les facilités que présente un casque autonome avec un système de tracking inside-out mais on peut également souligner son adaptation à la morphologie de chaque individu. En effet, le casque Oculus Quest 2 prend en considération la taille de chacun. Au moment de l'allumage, il suffit de déposer les manettes au sol afin que le système enregistre sa position et calcule l'altitude du casque à partir de ce repère, autrement dit, la distance entre les manettes et le casque sur la tête de l'utilisateur. Ce détail est extrêmement important dans le cadre de l'expérience menée où il est demandé aux participants d'estimer des dimensions dont des hauteurs. Ils pourront ainsi se référer à leur taille et ne pas avoir un point de vue faussé. Pour revenir à l'ergonomie, l'Oculus Quest 2 permet aux personnes portant des lunettes de les garder durant la session et donc de ne pas discriminer une partie de la population. Toujours à propos des yeux, Oculus a mis en place des lentilles ajustables à l'IPD (Interpupillary Distance – Distance interpupillaire) avec 3 propositions d'espacement allant de 56 à 70mm ce qui permet de couvrir 95% des adultes (Oculus). L'Oculus Quest 2 possède également un système de sangles afin de s'adapter à toutes les morphologies crâniennes.

Le champ de vision de ce casque est de 110°. Cela correspond à la moyenne des casques actuellement sur le marché. La définition quant à elle est de 1832x1920 pixels par œil (Oculus). De plus, il est compatible avec les trois logiciels mentionnés préalablement (Partie II – 1.2.1.).

Toutes ces caractéristiques font de l'Oculus Quest 2 un bon outil pour réaliser l'expérience de la visite virtuelle d'une habitation.

1.2.3. LE PROJET

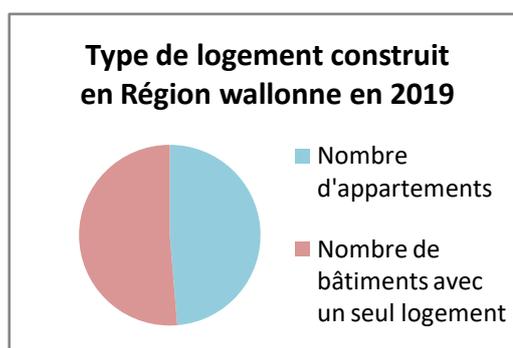
1.2.3.1. LA CRÉATION DU PROJET

Tous les participants visitent la même habitation en environnement virtuel avec des degrés de finition différents comme décrits ci-dessous. Dès lors, l'objectif premier est

de proposer un environnement abordable, dans lequel le plus grand nombre de personnes sont susceptibles de se projeter, de s’imaginer évoluer ; une maison unifamiliale que la plupart des individus pourraient considérer comme la leur. C’est pourquoi j’ai choisi de proposer une maison « témoin » susceptible de répondre aux attentes du plus grand nombre. L’habitation que les participants sont invités à visiter en EV est une maison unifamiliale ouverte de 3 chambres dont la superficie bâtie au sol est de 126 m². Pour effectuer ces choix, je me suis penchée sur diverses données statistiques (Statbel, 2020) de 2019 en région wallonne, telles que :

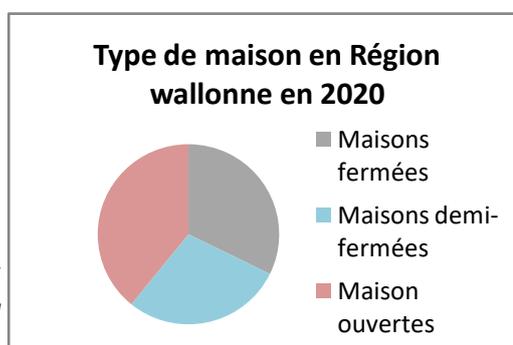
- parmi les permis de bâtir délivrés, 6.028 concernaient des maisons unifamiliales alors que 5.719 étaient octroyés pour des appartements.

Figure 20 : Graphique de la répartition des logements en appartement ou en bâtiment avec un seul logement en Région wallonne en 2019



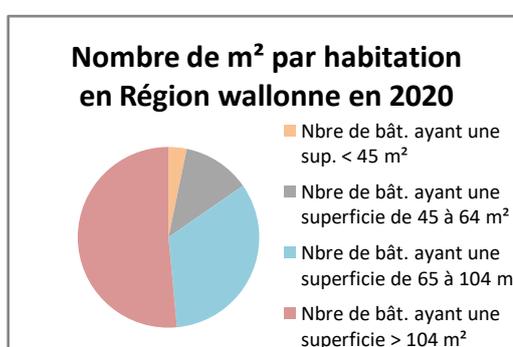
- 39,2% des maisons sont des maisons ouvertes c’est-à-dire 4 façades contre 32,2% de maisons fermées et 28,6% de maisons demi-fermées.

Figure 21 : Graphique de la répartition des maisons en maisons fermées, demi-fermées ou ouvertes en Région wallonne en 2020



- 51,5 % des maisons unifamiliales ont une superficie bâtie au sol supérieure à 104m².

Figure 22 : Graphique de la répartition des habitations sur base de leur superficie en Région wallonne en 2020



Pour travailler sur une base concrète, je me réapproprie le projet du cours de Pratique Professionnelle de Master 1 implanté sur un terrain existant. J'y intègre quelques subtilités, qui permettront de solliciter la capacité des sujets à évaluer les dimensions, telles qu'une mezzanine, une double hauteur sous plafond, un couloir long...

En ce qui concerne les degrés de réalisme, ils sont au nombre de quatre. Je nomme M1 la maquette blanche non meublée, M2 la maquette blanche meublée, M3 la maquette texturée non meublée et M4 la maquette texturée meublée. Par maquettes blanches, j'entends que les murs, sols et plafonds sont blancs tandis que dans les maquettes texturées, des revêtements tels que du carrelage, du parquet, des briques, de la peinture, du papier peint sont représentés. Dans les maquettes M1 et M3, le terme « non meublé » implique qu'aucun meuble n'est présent ; seuls des équipements fixes tels que la cuisine et les sanitaires y figurent. Ils permettent, par la même occasion, de donner des indices de fonctionnalité des pièces sans devoir les nommer. Pour terminer, les maquettes M2 et M4 sont meublées ; c'est-à-dire qu'elles comportent un certain nombre de meubles tels que des divans, lits, tables, chaises, armoires...



Figure 23 : Image de la maquette 1 en RV



Figure 24 : Image de la maquette 2 en RV



Figure 25 : Image de la maquette 3 en RV



Figure 26 : Image de la maquette 4 en RV

1.2.3.2. LA PROCÉDURE DE MODÉLISATION

Dans cette partie, je vais expliquer la procédure utilisée pour réaliser les 4 maquettes en réalité virtuelle.

Pour mener à bien cette procédure, il est nécessaire d'avoir recours à plusieurs logiciels. Ceux que j'ai choisis sont :

- AutoCAD 2018 pour réaliser le plan de base ;
- SketchUp 2020 pour modéliser la maison en 3D, la meubler et ajouter des textures ;
- Prospect by Iris VR afin d'importer le fichier dans le casque de réalité virtuelle.

Sur la base des critères que j'ai décrits dans le point précédent, j'ai dessiné une maison témoin dans AutoCAD reprenant les caractéristiques citées (3 chambres, long couloir, double hauteur...).

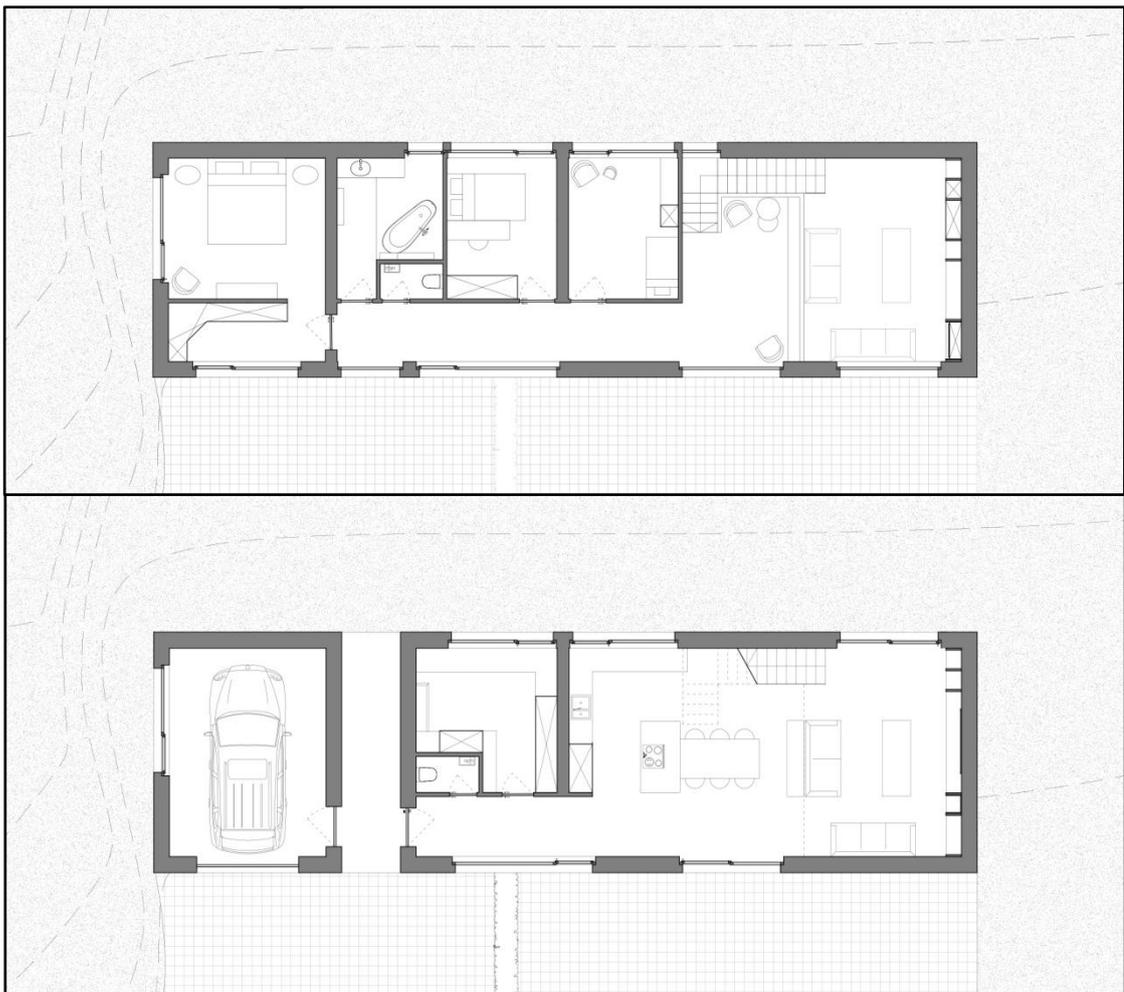


Figure 27 : Plans DWG de l'habitation sur laquelle est basée l'expérience

Une fois ce plan établi, je l'ai importé dans SketchUp afin de pouvoir modéliser la maison en 3D tout en y intégrant les ouvertures, les portes, châssis, fenêtres et escaliers. J'ai également modélisé le terrain afin d'asseoir le bâtiment. Le but n'est pas de visiter le jardin mais de se focaliser sur l'intérieur de la maison. A ce stade, la maquette 1 est finie.

L'étape suivante est celle de l'ameublement et du choix des textures. Elle est cruciale car elle détermine la qualité du fond, en d'autres mots, les degrés de finition qui sont la variable indépendante provoquée de mon expérience. Le travail le plus laborieux est de trouver et choisir les meubles qui intègrent la maquette. En effet, les meubles se doivent d'être réalistes. Pour ce faire, je parcours la 3D Warehouse de SketchUp et je choisis les meubles les plus adaptés aux fonctions des différentes pièces (salon, cuisine, chambre, bureau...) et je les mets à la bonne échelle afin d'avoir des repères corrects. J'ai ensuite ajouté, au bâtiment, des textures et des couleurs présentes dans le catalogue SketchUp afin de finaliser la maquette 4. Pour ce qui est de la maquette 3, il suffit de supprimer tous les meubles ajoutés. Pour la maquette 2, je reprends la maquette 4 et je retire juste les couleurs et textures (bâtiment et objets).

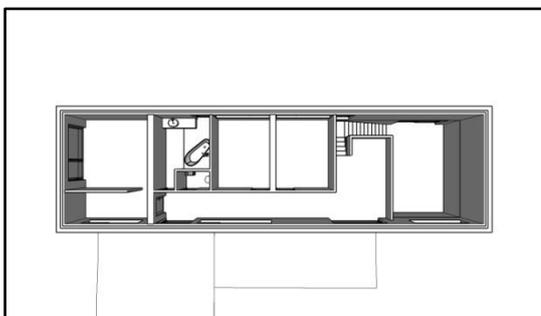


Figure 28 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 1 en SketchUp

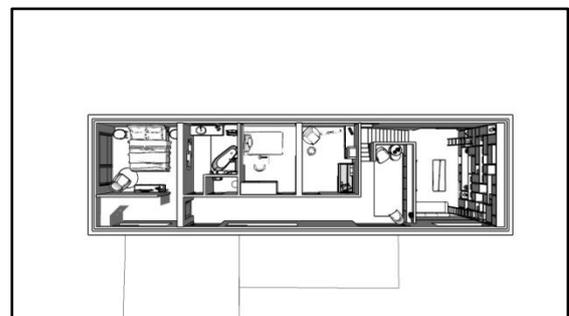


Figure 29 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 2 en SketchUp



Figure 30 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 3 en SketchUp



Figure 31 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 4 en SketchUp

Pour finir, c'est grâce à Prospect by Iris VR que je peux importer les différentes maquettes en RV.

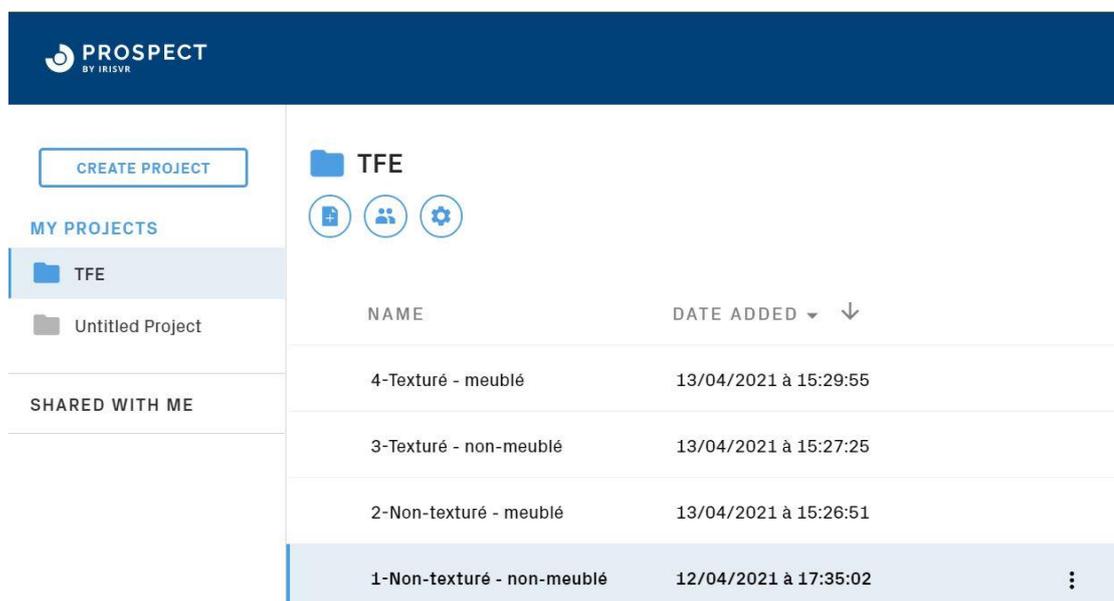


Figure 32 : Interface d'accueil de Prospect by Iris

1.3. LE QUESTIONNAIRE ET L'ENTRETIEN

Le questionnaire permet de relever des données circonscrites et chiffrables alors que l'entretien établit une interaction afin de compléter le point de vue du participant. Lors de la rédaction du questionnaire et du canevas d'entretien, il est utile de construire de bons indicateurs ou descripteurs. Il s'agit de chercher des données cohérentes et significatives pour vérifier, infirmer ou amender mon hypothèse. En effet, les concepts de perception des dimensions et du sentiment de présence ne sont pas, de prime abord, mesurables. C'est pourquoi il est nécessaire de les traduire en indicateurs qui permettent d'observer les variables dépendantes.

1.3.1. LE QUESTIONNAIRE

La formulation des questions est fondamentale. Il est nécessaire de se limiter à une idée par question et d'adopter un vocabulaire clair et simple. Les variables de mon

travail requièrent l'utilisation de questions « d'opinion » qui permettent des réponses nuancées. Je prévois d'utiliser une échelle unidimensionnelle c'est-à-dire un choix parmi les choix possibles. L'utilisation de l'échelle de Likert (Likert, 1932) me semble pertinente. Elle permet de soumettre des affirmations pour lesquelles le participant marque son accord ou son désaccord en choisissant parmi un nombre impair de propositions. La proposition centrale laisse la possibilité d'exprimer une absence d'avis ou un avis neutre. Cette échelle a l'avantage de ne pas limiter l'avis du répondant à un choix bipolaire tout en évitant le côté fastidieux des réponses par classification. Cependant, en ce qui concerne l'évaluation de mesures, il s'agira de questions à choix multiple et à réponse unique telles que décrites dans le point 1.3.1.1.6.

Le questionnaire que j'ai élaboré comporte 40 items. Certaines questions ont été rédigées spécifiquement pour l'évaluation de mon hypothèse et d'autres proviennent de questionnaires présents dans la littérature ; c'est principalement le cas des questions portant sur le sentiment de présence.

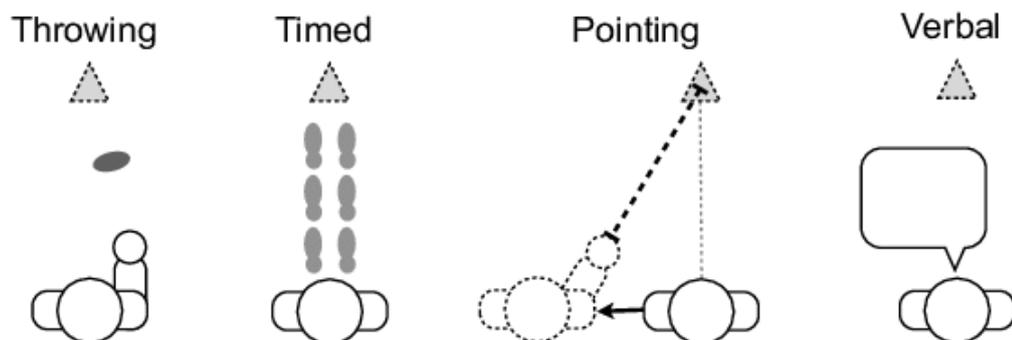


Figure 33 : Diverses méthodes d'évaluation de la perception des distances

1.3.1.1. LES QUESTIONS LIÉES À L'ESTIMATION DES DIMENSIONS

Partant du contexte de la visite d'une maison, la perception des espaces est un élément significatif dans la prise de décisions ultérieures et dans la discussion potentielle à établir entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre. Et, bien que la mesure de distances soit objective, la perception des distances l'est beaucoup moins.

Dans le cadre d'une visite en EV, quels degrés de finition vont aider un client à mieux percevoir les distances ? Mon expérience s'appuie sur l'estimation de distances et de dimensions par les participants après leur visite de la maison en EV. L'aspect « habitabilité » du bâtiment et de ses différentes pièces me semble aussi pertinent à aborder. Diverses méthodes existent pour évaluer ces perceptions. En voici quelques-unes illustrées ci-dessous (Peer, et al., 2017), elles se distinguent sur la base de différentes approches : actions guidées, actions imaginées, estimations verbales, correspondances perceptuelles ou faisabilité.

1.3.1.1.1. LES MÉTHODES BASÉES SUR LES ACTIONS GUIDÉES

Comme décrites dans différentes études, ces méthodes impliquent que le participant réalise l'une ou l'autre action qui lui permet d'évaluer une distance (Loomis, et al., 2004) (Klein, et al., 2009).

Dans la marche aveugle directe, le participant observe une cible puis marche les yeux bandés jusqu'à ce qu'il ait le sentiment d'avoir atteint la cible. La distance entre le point de départ et l'arrêt est mesuré puis comparée à la distance de la cible en EV.

Dans le cas de la marche aveugle triangulée, le sujet observe un repère devant lui. Ensuite, sur la base des instructions reçues, il pivote et se déplace de quelques mètres. Il montre l'endroit où il imagine que le repère se trouve. Grâce à des calculs de triangulation, la distance est calculée et comparée à la distance montrée en EV.

Dans le cadre de la « tâche de lancer », le participant observe la cible puis lance un sac de graines en vue d'indiquer la distance perçue.

1.3.1.1.2. LA MÉTHODE BASÉE SUR LES ACTIONS IMAGINÉES

Assez proche des actions guidées, cette méthode consiste à imaginer le temps nécessaire pour se déplacer jusqu'à la cible. Le sujet voit l'objet puis ferme les yeux et imagine qu'il marche jusqu'à la cible. Le temps est chronométré et, couplé à la vitesse de la marche préalablement mesurée, il permet d'estimer la perception de la

distance par le sujet. L'avantage de cette technique est qu'elle ne nécessite pas de grands espaces.

1.3.1.1.3. LA MÉTHODE BASÉE SUR L'ESTIMATION VERBALE

Cette méthode est basée sur les connaissances métriques du participant. Elle consiste à estimer une distance en utilisant une valeur métrique connue (mètre ou pied...). La difficulté est que certaines personnes n'ont pas la connaissance métrique requise. Dès lors, il peut être judicieux de rappeler ces valeurs avant l'expérimentation. C'est ce qu'ont fait Piryankova et al. en montrant un ruban d'un mètre avant la mise en situation (Piryankova, et al., 2013). Par ailleurs, plutôt que de laisser une estimation libre, il est aussi possible de limiter l'intervalle d'erreur en proposant un choix de valeurs parmi lesquelles le participant sélectionne une réponse.

1.3.1.1.4. LA MÉTHODE BASÉE SUR DES CORRESPONDANCES PERCEPTUELLES

Dans ce cas de figure, l'observateur évalue la distance d'un objet cible par rapport à la distance d'un objet référent. Par exemple, dans l'expérience de Sinai et al., le participant observe une colonne puis doit reproduire la distance en déplaçant un mât avec un joystick (Sinai, et al., 1999).

1.3.1.1.5. LA MÉTHODE BASÉE SUR LA FAISABILITÉ

« The key idea is that space perception needs to be understood in terms of the perceiver's potential for action in the space » (Stefanucci, et al., 2015). *« L'idée principale est que la perception de l'espace doit être comprise en termes de possibilité d'action du percepteur dans l'espace »*. Par exemple, demander à un sujet s'il estime qu'il peut passer entre deux poteaux sans tourner les épaules, comme dans l'expérience menée par Geus et al. (Geuss, et al., 2010).

1.3.1.1.6. SYNTHÈSE

La prise en considération de ces différentes expériences me permet de voir plus clair dans la possibilité de ce qui peut être fait dans le cadre de mon étude. D'un point de vue espace, des expériences telles que basées sur des actions guidées me semblent difficilement réalisables. Par ailleurs, la méthode basée sur des actions imaginées ne me semble pas à propos. En effet, si je demande à une personne d'imaginer le temps de marche pour aller du hall d'entrée à la salle de bain, je pourrais difficilement le mettre en concordance avec une potentielle vitesse de marche préalablement chronométrée vu que celle-ci va être différente selon qu'elle se déroule dans une pièce plus ou moins encombrée, dans un couloir rectiligne ou non, dans des escaliers... Enfin, j'écarte aussi la méthode basée sur les correspondances perceptuelles vu que l'objet de mon étude fait varier les objets référents dans le sens où il n'y a pas ou peu d'objets référents dans la maquette « blanche » tandis que, à l'opposé, le nombre d'objets référents sont nombreux dans la maquette texturée et meublée. L'intérêt, justement, est de voir si ces objets référents sont une aide à l'estimation des dimensions ou s'ils sont un faux allié.

Dès lors, je choisis d'utiliser les méthodes basées sur l'estimation verbale et sur la faisabilité pour rédiger mon questionnaire.

En ce qui concerne la première méthode, j'y associe 2 principes : d'une part, je fournis un mètre ruban au participant avant l'expérience pour qu'il visualise l'unité de mesure et d'autre part, j'utilise des questions fermées à choix unique. Le participant évalue la dimension de diverses pièces en choisissant parmi trois propositions de grandeurs. Pour que les diverses suggestions soient plausibles, je limite à 15% la différence entre les propositions de largeurs et hauteurs et de 30% celles de longueurs et de superficies. Par ailleurs, je veille à ce que la bonne dimension ne soit pas toujours proposée comme choix central afin d'éviter les choix automatiques. C'est pourquoi le nombre de réponses en sous-estimation, en surestimation et en choix central est équilibré. Je varie également les questions ; certaines porteront sur la largeur des pièces, d'autres, sur leur profondeur mais aussi sur la hauteur ou encore sur la superficie.

La deuxième méthode, basée sur la faisabilité, est tout à fait transposable et adaptée à une visite de maison. Mon objectif est d'évaluer l'habitabilité de la maison et la faisabilité de certaines tâches. Au travers de diverses questions, je demande au sujet d'évaluer sur une échelle de Likert la faisabilité d'actions du quotidien ou de la vie courante et l'habitabilité, c'est-à-dire l'aménagement de pièces, leur confort de vie. Pour évaluer les dimensions utiles aux différentes actions, je me suis référée principalement aux normes de Neufert (Neufert, 2014). Par exemple, la largeur utile pour deux personnes debout est de 1,15m augmentée de 10% pour le mouvement. Dès lors, dans la question D2 (voir annexe 1 : Questionnaire), la largeur du hall de 1,5m permet largement à deux personnes de se croiser. Alors que, selon la même logique, il est impossible de se croiser dans un escalier de 0,9m de large (question D10). Toujours selon ce même ouvrage constituant une référence en architecture, pour pouvoir manger confortablement, une personne a besoin de minimum 0,6m de largeur ce qui implique qu'il n'est pas possible de dresser 7 tables pour 4 personnes dans ce séjour (question D9).

Bien entendu, j'ai eu recours à ces différentes normes pour que les résultats soient objectifs mais je suis consciente que les réponses données par les participants seront basées sur leurs expériences, leur vécu et non sur la consultation de documents référents ; l'objectif de mon hypothèse étant de vérifier si les degrés de réalisme auront un impact sur les perceptions des dimensions.

1.3.1.2. LES QUESTIONS LIÉES AU SENTIMENT DE PRÉSENCE

Pour rappel, de nombreuses définitions existent par rapport au sentiment de présence (Barfield, et al., 1993) (Witmer, et al., 1998) (Slater, 2003) (Riva, 2020) (voir Partie I - 2.2). Toutes ont comme point commun le sentiment « d'être là », d'être présent dans l'environnement virtuel plus que dans le monde physique.

Afin d'évaluer le degré d'émotions d'un individu, il est possible de prendre en considération diverses mesures physiologiques telles que l'activité cérébrale, le rythme cardiaque, la sudation... (Wiederhold, et al., 2003) (Lang, et al., 1993). Bien

que cette famille de mesures soit qualifiée d'objective, elle dépasse mes compétences. Une autre approche, psychologique consisterait en l'observation de comportements et micro-comportements : déplacements, mouvements de recul... Mais j'ai opté pour une autre démarche qui repose sur une auto-évaluation a posteriori. D'abord parce qu'elle est plus en phase avec ma formation et parce que, comme le précisent Hendrix et Barfield, les questionnaires sont « *a useful tool when evaluating presence in virtual environments* » (Hendrix, et al., 1996). « *un outil utile quand on évalue la présence dans des environnements virtuels* ». Par ailleurs, la littérature regorge de questionnaires orientés pour la mesure du sentiment de présence.

1.3.1.2.1. LE SLATER-USOH-STEED (SUS) QUESTIONNAIRE

Publié en 1994, ce questionnaire est composé de 6 items répartis en 3 groupes : le sentiment « d'être là », l'environnement virtuel comme devenant la réalité dominante pour le sujet et le souvenir de l'EV comme étant un endroit (Slater, et al., 1994). Slater, Usoh et Steed partent du principe que le sujet se sent soit dans l'environnement virtuel soit dans l'environnement réel mais pas dans les deux. L'analyse des résultats ne prend en considération que les réponses 6 et 7 sur une échelle de Likert à 7 positions.

1.3.1.2.2. LE PRESENCE QUESTIONNAIRE (PQ)

Ce questionnaire, mis en place par Witmer et Singer en 1998 (Witmer, et al., 1998), prend en considération quatre facteurs : le niveau de contrôle, la qualité de l'immersion, le degré de réalisme et les distractions perturbant l'expérience. Il comporte 24 questions.

1.3.1.2.3. L'IMMERSIVE TENDENCIES QUESTIONNAIRE (ITQ)

Egalement réalisé en 1998 par Witmer et Singer (Witmer, et al., 1998), ce questionnaire publié dans le même article que le PQ comporte 18 items évalués sur une échelle de Likert de 7 points. Il aborde trois thèmes : l'implication (le sentiment d'être pris par une histoire, un film), l'attention (la capacité à se concentrer et ignorer les distractions) et les jeux (la fréquence à laquelle le participant joue aux jeux vidéo)

1.3.1.2.4. L'IGROUP PRESENCE QUESTIONNAIRE (IPQ)

Dans ce questionnaire, Schubert, Friedmann et Regenbracht (Schubert, et al., 2001) se penchent sur la présence spatiale (psychological immersion), l'implication (involvement) et le réalisme de l'environnement au travers de 14 questions.

1.3.1.2.5. L'ITC-SOPI

En 2001, Lessiter, Keogh et Davidoff présentent un questionnaire en 44 points portant sur la présence spatiale, l'engagement, la perception de l'EV comme étant naturel et les effets négatifs de l'EV (Lessiter, et al., 2001).

1.3.1.2.6. SYNTHÈSE

Pour évaluer le sentiment de présence dans le cadre spécifique de mon expérience, j'ai choisi de combiner plusieurs questionnaires et d'y ajouter quelques questions formulées personnellement. Dans un premier temps, je me suis inspirée du questionnaire de Slater-Usoh-Steed (SUS) pour les 6 premiers items. Les suivants sont basés sur l'IPQ de Schubert, Friedmann et Regenbrecht qui, eux-mêmes, s'inspirent de Slater-Usoh-Steed, de Witmer&Singer... L'intérêt est qu'il existe une version officielle traduite par Isabelle Viaud-Delmon consultable en ligne sur le site de l'igroup.org (Igroup). En reprenant ces deux sources, certains points figurent à la

forme interrogative et d'autres à la forme affirmative. Pour des raisons d'uniformisation et de lisibilité, j'ai choisi de formuler tous les items sous la forme d'affirmations et de proposer une échelle de Likert à 5 propositions. Mon questionnaire portant sur le sentiment de présence comporte dès lors 20 items.

1.3.2. L'ENTRETIEN

Dans le cadre de l'entretien, le participant est invité à faire part de son expérience personnelle. La porte est ouverte pour éventuellement commenter, nuancer les réponses apportées dans le questionnaire. Même si l'une ou l'autre question préparée peut servir de point de départ et/ou de « guideline » à l'entretien, il s'agit avant tout d'une interaction et non d'une interview. La stratégie consiste à rapprocher au maximum l'entretien de la simple conversation telle que dans la vie quotidienne. Il permet de contrebalancer l'aspect plus artificiel et directif du questionnaire. C'est pour ces raisons que je n'élabore pas de questionnaire mais que je rédige un canevas d'entretien (voir annexe 2 : Canevas de l'entretien) qui, comme le mentionne de Sardan « *...relève du « pense-bête » personnel, qui permet, tout en respectant la dynamique propre d'une discussion, de ne pas oublier les thèmes importants* » (de Sardan, 2003). Les trois pôles que je souhaite aborder sont le ressenti global, l'utilité de la RV en architecture et le dernier laisse la porte ouverte à tout autre commentaire. Il m'appartient d'introduire les différents thèmes à aborder dans la conversation en tenant compte du langage et de l'univers du participant. En effet, parler de « sentiment de présence » ne fait pas forcément sens pour mes interlocuteurs. C'est pourquoi je dois aborder, entre autres, ce thème en utilisant leurs codes. Par ailleurs, à la différence du questionnaire, il est possible d'apporter de la récursivité à l'entretien. Les réponses et réflexions du participant permettent de rebondir, de formuler de nouvelles questions qu'on lui pose ou qu'on se pose. Les principaux biais à minimiser, dans le cadre de l'entretien, sont mon attitude, qui veille à ne pas orienter le témoignage des participants, et la subjectivité, qui pourrait interpréter dans un sens ou dans un autre leurs propos. Je tente de maîtriser l'impact de ces biais en rapportant sur le rapport d'entretien les observations, les ressentis et

les éventuelles remarques. Bien que ne faisant pas un travail de sociologie ni d'anthropologie, je suis bienveillante quant aux stéréotypes qui pourraient influencer l'enquête et quant au principe de « mise en scène » selon lequel le participant se voit investi d'un rôle à jouer, d'une représentation de lui-même à gérer.

1.4. LA MISE EN PLACE DE L'EXPÉRIENCE

Avant l'expérience à proprement parler, j'ai réalisé un test sur des personnes de mon entourage afin de m'assurer que tout se déroulerait bien le jour venu.

Pour commencer, 2 personnes ont réalisé l'expérience pour vérifier le timing de la visite de la maquette, la bonne compréhension du questionnaire ainsi que le temps nécessaire pour y répondre. Il en est ressorti que je devais réduire le nombre de points à aborder lors de l'entretien car cela prenait trop de temps alors qu'il ne constitue pas le cœur de l'expérience même s'il en est une plus value.

Ensuite, après rectification et pour vérifier les visites des différentes maquettes, ainsi que la compréhension des instructions relatives à l'utilisation du matériel, j'ai sollicité 8 autres personnes. J'ai pu ainsi faire tester 2 fois chaque maquette et le résultat fut très concluant.

Pour terminer, j'ai demandé à 5 personnes de venir à la cafétéria du campus du centre-ville – Zone Botanique de la faculté d'architecture de l'ULiège, local mis à ma disposition pour mener l'expérience. Ce dernier test m'a surtout permis de vérifier l'espace dédié aux déplacements physiques lors des visites en réalité virtuelle.

Le choix du lieu est soumis à plusieurs critères. Le but est de trouver un local facile d'accès pour les étudiants de bac 1, libre et assez grand pour pouvoir circuler en réalité virtuelle. La cafétéria du site Botanique s'avère être un choix stratégique à tous les niveaux :

- C'est le site où les bac 1 ont leur cours d'écriture de l'espace et de projet ce qui me permet de les croiser 2 fois durant la semaine (leurs cours théoriques étant à domicile pour des raisons de mesures liées à la Covid-19).
- La cafétéria n'est pas occupée durant toute la semaine.

- La superficie du local me permet d’y aménager trois zones : un bureau face à l’entrée pour accueillir les étudiants, une superficie de 19,6 m² pour réaliser la visite virtuelle et un espace avec des tables hautes pour répondre au questionnaire ainsi que des fauteuils pour réaliser l’entretien.



Figure 34 : Espace dédié à la visite en environnement virtuel

Les dates de l’expérience sont fixées du lundi 19 au vendredi 23 avril 2021, soit la semaine après les vacances de Pâques. Ces dates sont choisies afin de ne pas déranger les étudiants par rapport à leur calendrier de remise d’avant-projet et d’examens.

Une fois le lieu et les dates fixés, j’entame la « promotion » de l’expérience pour inviter les étudiants et atteindre l’objectif minimum de 40 participants.

Dans un premier temps, je leur adresse un mail pour expliquer brièvement mon TFE. Je leur propose de s’inscrire à l’évènement que j’ai créé sur l’agenda collaboratif Doodle de sorte à anticiper le rythme des expériences et pour leur éviter de faire la file devant le local.

Dans un second temps, un évènement Facebook voit le jour et est partagé sur le groupe fermé des « Archi ULiège – B1 – 2020-2021 » qui est un endroit plus visible et plus dynamique en terme de communication.

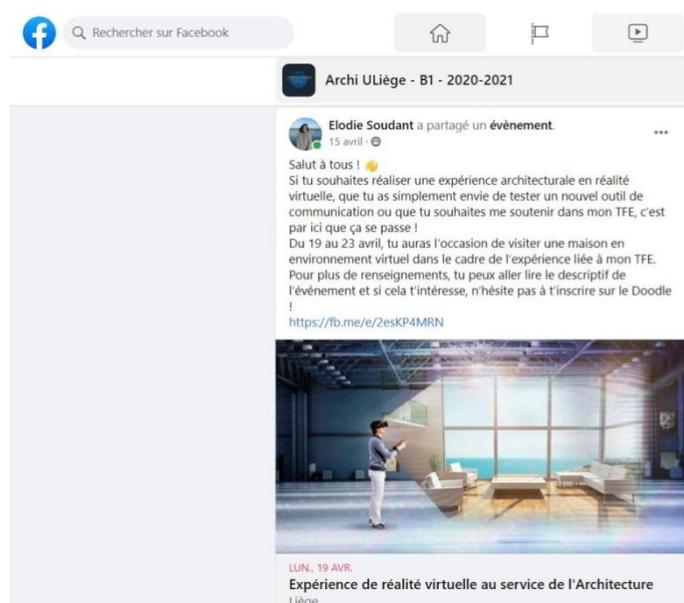


Figure 35 : Descriptif de l’évènement Facebook partagé sur le groupe « Archi ULiège – B1 – 2020-2021 »

1.5. LA PROCÉDURE DE L'EXPÉRIENCE

Les participants, au nombre de 40, sont répartis en 4 groupes de manière aléatoire. Chaque participant n'effectue qu'une seule visite. A leur arrivée, les participants sont accueillis sur base volontaire. Ils sont informés au préalable qu'ils sont invités à visiter une maison (telle que décrite au point 1.2.3.1.) et qu'ils devront répondre à un questionnaire portant sur les dimensions et le sentiment de présence. Ils tirent au sort un des quatre degrés de réalisme qui particularise leur visite. Je les briefe quant à l'utilisation du casque de réalité virtuelle et des manettes et réponds à leurs éventuelles questions. Je les informe que, à n'importe quel moment de l'expérience, s'ils se sentent mal à l'aise, ils peuvent arrêter la visite. Je vérifie leur bonne compréhension du matériel en m'assurant qu'ils ont bien réussi à franchir la 1^{ère} porte afin de commencer la visite. Par la suite, je me positionne en retrait tout en restant observatrice de leur comportement et de leurs éventuelles réflexions, l'objectif étant de réduire les distractions potentielles du monde réel (voir Partie I – 2.2.1.).



Figure 36 : Visites de l'habitation en environnement virtuel par des étudiants de bac 1 de la Faculté d'Architecture de l'ULiège 2020-2021

A la fin, les participants répondent d'abord individuellement au questionnaire sans aucune intervention de ma part puis nous passons à l'entretien leur permettant de faire part de leurs ressentis en face-to-face. Sur la base des tests préalablement réalisés, j'estime à un quart d'heure le temps nécessaire pour effectuer la visite virtuelle d'une maison et à un quart d'heure le timing pour répondre au questionnaire et prendre part à l'entretien. Au moment de prendre congé, je leur demande de ne pas discuter du contenu de l'expérience, du questionnaire et de leurs réponses avec les autres

participants tant que l'expérience n'est pas terminée. Bien que celle-ci se déroule sur 5 jours, le canevas sera reproduit à l'identique afin de mettre les candidats dans des conditions similaires.

Sur les 2 premiers jours, 8 étudiants qui avaient pris rendez-vous via l'agenda Doodle ont participé à l'expérience. Ils ont été ravis et ont, par la suite, stimulé d'autres étudiants à venir expérimenter la RV. Cependant, pour m'assurer d'avoir suffisamment de participants, j'ai contacté les enseignants de projet bac 1 afin d'organiser une journée pendant laquelle les étudiants pouvaient facilement circuler du cours vers mon activité et vice versa. De ce fait, beaucoup d'étudiants ont pu se présenter sans faire de file et en respectant les mesures sanitaires en vigueur relatives à la Covid-19. En effet, il a fallu respecter les normes d'usage en avril 2021, à savoir le port du masque obligatoire, la désinfection des mains à l'entrée, la désinfection systématique du matériel (casque, manettes, stylo...), la distanciation sociale... Malgré toutes ces conditions, j'ai réussi à atteindre le nombre de 40 participants et à mener à bien mon expérience.

2. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats de l'expérience menée la semaine du 19 au 23 avril 2021 a pour objectif de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse : **le degré de réalisme de la visite virtuelle d'une habitation impacte l'évaluation des dimensions ainsi que le sentiment de présence.** L'exploitation des données récoltées au travers du questionnaire permet de comparer les résultats des différents groupes et surtout l'impact sur les variables dépendantes. Ensuite, l'analyse des entretiens permet de relever les informations pertinentes et/ou récurrentes mentionnées par les participants. Il est aussi intéressant de terminer en relevant les observations et dysfonctionnements éventuels qui se sont produits pendant l'expérience.

2.1. L'ANALYSE PAR SOUS-HYPOTHÈSES

Pour vérifier la validité de l'hypothèse, il est judicieux de distinguer les 3 principales variables dépendantes qui sont à la base de la rédaction du questionnaire (voir annexe 1 : Questionnaire). Dans un premier temps, l'évaluation des mesures et la perception de l'habitabilité sont les deux variables dépendantes qui font parties de l'évaluation des dimensions. La troisième variable dépendante est le sentiment de présence. Dès lors, il est nécessaire de structurer l'analyse en distinguant 3 sous-hypothèses, chacune abordant une des variables dépendantes.

2.1.1. LA SOUS-HYPOTHÈSE RELATIVE AUX MESURES

S-H1 : Le degré de réalisme incluant l'ameublement et les textures (maquette 4) améliore la perception des mesures par les participants.

L'évaluation des mesures est facilitée par l'ameublement et la texture. En effet, un lit, une table... peuvent servir de repères et par transposition, aider à évaluer les dimensions et les volumes. L'état de l'art sur les aspects cognitifs soutient cette hypothèse, plus particulièrement les indices visuels tels que la taille relative et l'occultation. En ce qui concerne les textures, les couleurs des châssis, les appuis de fenêtres, les contrastes entre les murs... permettent de mieux percevoir les

profondeurs que lorsque tout est blanc. Tous ces éléments fournissent des indices d'échelle qui aident à calibrer les espaces. En effet, des indices visuels tels que le gradient de texture, les ombres... interfèrent en faveur de la facilité de perception des dimensions. De plus, la parallaxe de mouvement est amplifiée par la présence d'objets et de textures et peut aider dans l'évaluation des mesures. Effectivement, en se déplaçant dans l'habitation, les participants se rapprochent des objets, voient « défiler » les textures...

En ce qui concerne l'analyse, la première constatation est que le pourcentage de bonnes réponses le plus faible concerne la maquette 4 (46%). La maquette 3 obtient le meilleur score de bonnes réponses avec 55% soit une différence de 11 points. Les maquettes 1 et 2, quant à elles, n'ont qu'une différence d'un point en faveur de la maquette 2. En dehors des bonnes réponses, les participants de la maquette 1 ont eu davantage tendance à surévaluer les mesures. Tandis que dans les maquettes 3 et 4, ils les ont plutôt sous-évaluées. Par contre, pour la maquette 2, les pourcentages de sur- et de sous-évaluation sont équivalents.

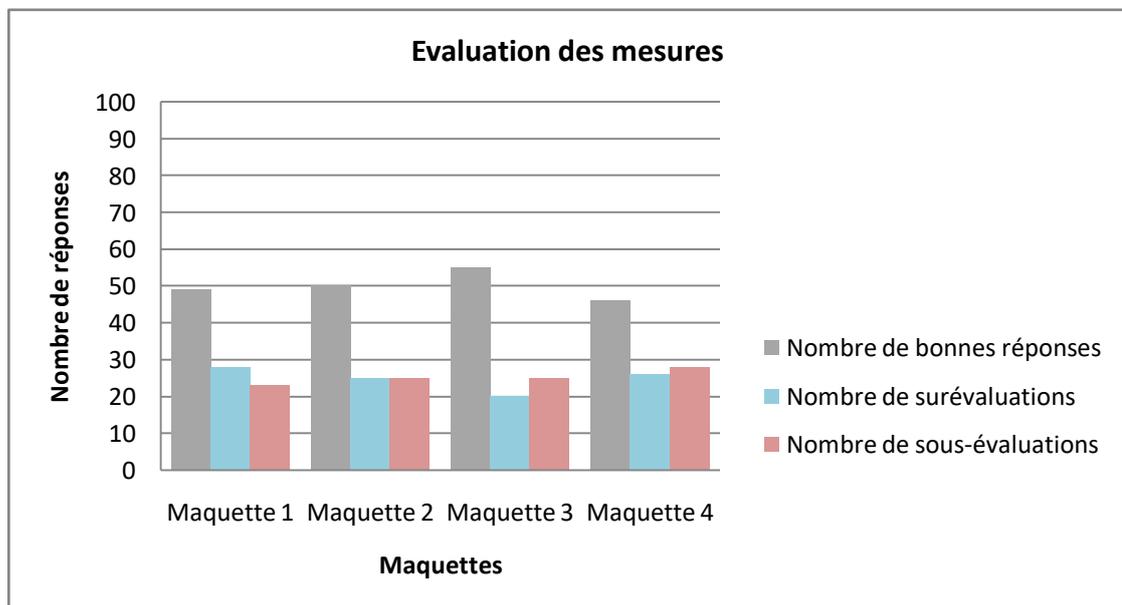


Figure 37 : Graphique de l'évaluation des mesures par les étudiants par maquette

Il est intéressant de se pencher également sur les résultats obtenus selon que les questions portent sur les longueurs, les hauteurs, les largeurs ou les superficies.

Cependant, vu que le nombre de questions par item est limité, il ne permet pas toujours de respecter une distribution équitable de réponses en sur- et sous-évaluations. Dès lors, les résultats analysés confronteront les bonnes réponses aux réponses erronées.

En ce qui concerne les longueurs (questions D1 et D14), les maquettes 1 et 2 obtiennent les plus grands nombres de bonnes réponses avec respectivement 60% et 65%. Elles sont suivies par la maquette 4 avec 55% et enfin la maquette 3 avec 50%.

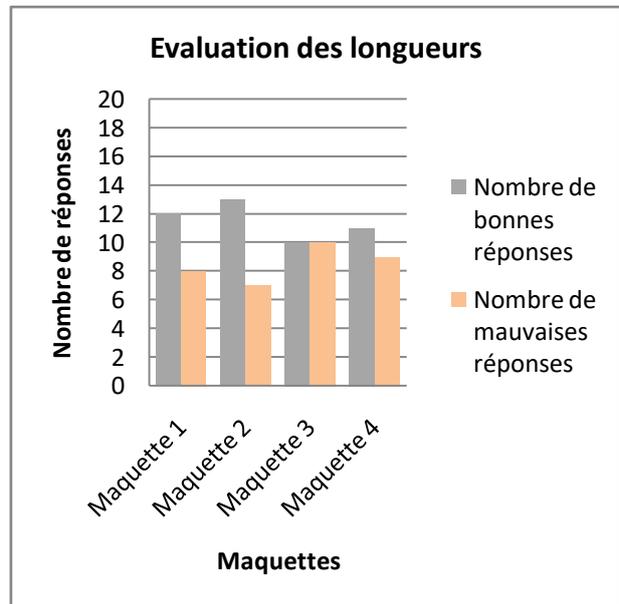


Figure 38 : Graphique de l'évaluation des longueurs par les étudiants par maquette

En analysant les questions relatives aux hauteurs (questions D3, D6, D13 et D20), il apparaît que dans le cadre des 4 maquettes plus de la moitié des réponses sont correctes avec un taux de 65% de bonnes réponses pour la maquette 3. Ce résultat est suivi de très près par les maquettes 2, 1 puis 4 dont les pourcentages varient entre 55% et 60%.

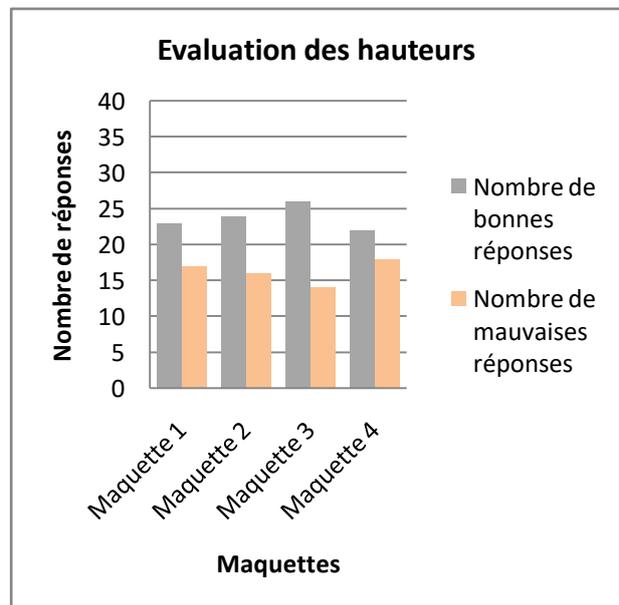


Figure 39 : Graphique de l'évaluation des hauteurs par les étudiants par maquette

Les questions portant sur les largeurs (questions D7 et D11) enregistrent un nombre médiocre de bonnes réponses dans l'ensemble des maquettes, en plafonnant à 40% dans le cadre de la visite de la maquette 3. La maquette 4 recueille, quant à elle, le taux le plus bas avec 20% de bonnes réponses.

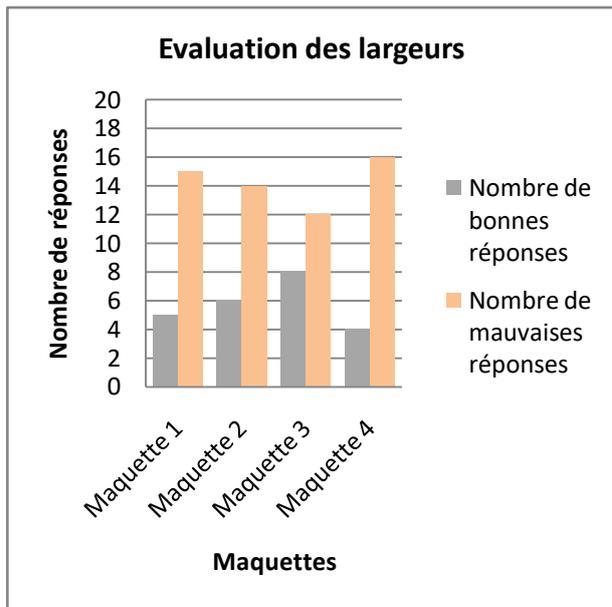


Figure 40 : Graphique de l'évaluation des largeurs par les étudiants par maquette

La perception des superficies au travers des questions D16 et D17 laisse apparaître que seule la maquette 3 obtient un nombre de bonnes réponses supérieur au nombre de réponses erronées avec un écart de 10% de l'ensemble des réponses. Les maquettes 1 et 4 obtiennent également un écart assez faibles de 10% mais avec la tendance opposées à savoir que les réponses erronées dominant. L'écart est plus significatif dans le cadre de la maquette 2 où seulement 35% des répondants ont la bonne réponse.

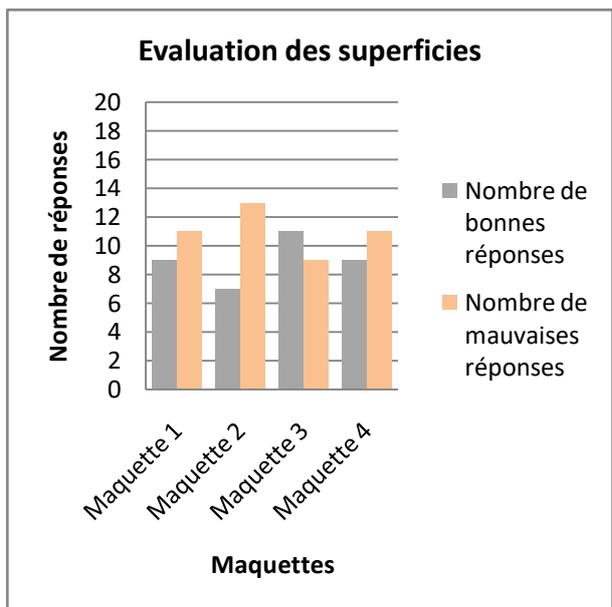


Figure 41 : Graphique de l'évaluation des superficies par les étudiants par maquette

En conclusion, les résultats invalident la sous-hypothèse S-H1. En effet, la maquette 3 récolte les meilleures évaluations tant dans l'analyse globale que pour l'estimation des hauteurs, largeurs et superficies. Seule dans l'évaluation des longueurs, la maquette 2 prime. Dans le cadre des 4 maquettes, l'estimation des largeurs a été

plus difficile que l'évaluation des longueurs et des hauteurs. En se référant aux caractéristiques de la maquette 3, le degré de réalisme texturé et non meublé améliore la perception des mesures par les participants.

2.1.2. LA SOUS-HYPOTHÈSE RELATIVE À L'HABITABILITÉ

S-H2 : L'ameublement améliore la perception de l'habitabilité de la maison par les participants.

Cette variable dépendante provoquée apparaît dans les maquettes 2 et 4.

L'ameublement aide le sujet à évaluer l'habitabilité des différentes pièces, notamment, en se référant à la théorie de la taille relative. Par exemple, en ayant vu la table de 6 personnes dans les maquettes meublées, les candidats peuvent se représenter l'espace qu'elle occupe et imaginer combien de personnes assises pourraient prendre place dans le living en vue de répondre à la question D9 (voir annexe 1 : Questionnaire). De même, être debout dans la chambre, entouré des meubles permet de transposer l'occupation de l'espace par des meubles de dimensions différentes.



Figure 42 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 1 en RV



Figure 43 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 2 en RV



Figure 44 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 3 en RV



Figure 45 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 4 en RV

Grâce à l'ameublement, le participant peut estimer plus facilement l'habitabilité sur la base des distances exocentriques (entre deux objets) ou égocentriques (entre le participant et un objet).

Par contre, les textures ont un impact moindre sur la perception de l'habitabilité. Elles n'influencent pas les déplacements des participants dans les pièces et n'aident pas quant à l'occupation au sol de certains meubles.

Pour pouvoir analyser les questions relatives à l'habitabilité, une note de 5 est attribuée aux bonnes réponses. Cette note régresse d'un point au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la bonne réponse.

Le premier graphique, ci-dessous, permet de constater que les maquettes 3 et 4 obtiennent le plus haut taux de bonnes réponses (30%). En combinant les résultats des deux notes les plus élevées, la maquette 4 se distingue des 3 autres en obtenant 63% contre 53% pour les maquettes 1 et 2 ; et 52% pour la maquette 3. Dans les 4 maquettes, un quart des participants a émis un avis neutre en utilisant la position centrale de l'échelle de Likert. Le taux de réponses erronées obtenant une note de 1 est en dessous des 10% dans les 4 maquettes.

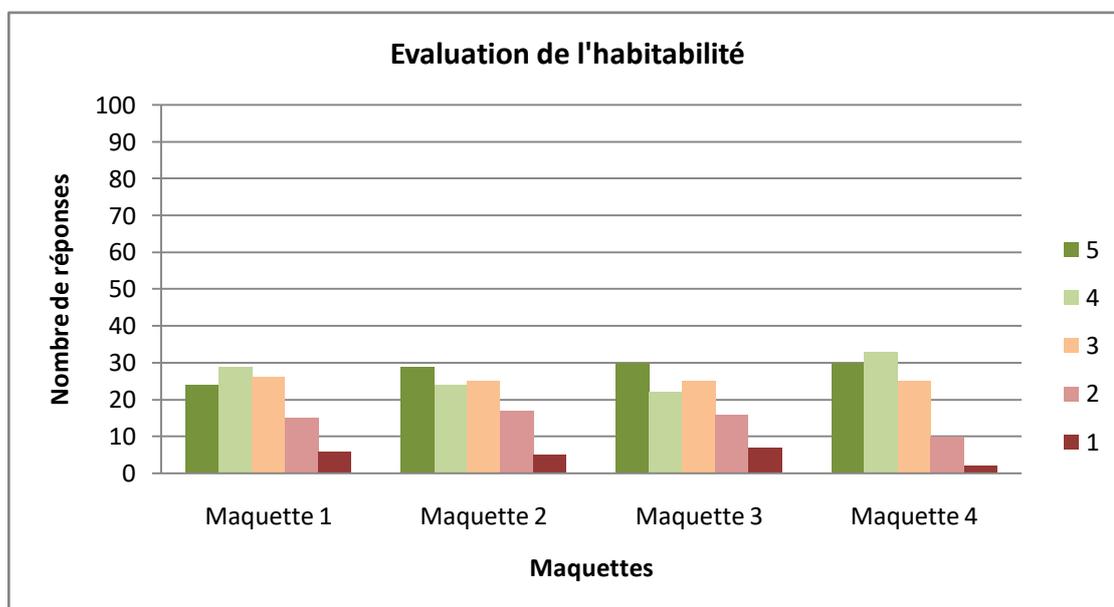


Figure 46 : Graphique de l'évaluation de l'habitabilité par les étudiants par maquette

Il est intéressant de séparer les questions à connotation égocentrique (D2, D4, D8, D10, et D19) de celles à connotation exocentrique (D5, D9, D12, D 15 et D18).

Il apparait que, pour les questions égocentriques, le taux de réponses neutres est dominant dans les quatre maquettes allant de 24% (maquette 2) à 34% (maquette 4). Par contre, le taux de bonnes réponses oscille entre 20% et 24%. En ce qui concerne les réponses erronées, le taux atteint 10% dans les maquettes 1 et 2. La maquette 4 obtient globalement les meilleurs résultats : le cumul des deux notes les plus hautes atteint 50% alors que le cumul des deux notes les plus basses ne s'élève qu'à 16%.

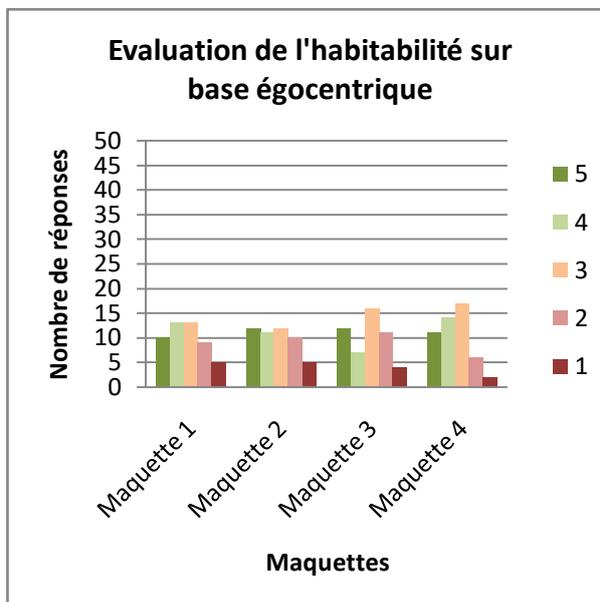


Figure 47 : Graphique de l'évaluation de l'habitabilité sur base égocentrique par les étudiants par maquette

En analysant le graphique sur l'évaluation de l'habitabilité sur base exocentrique, il apparait que les résultats sont nettement positifs. En effet, le taux de bonnes réponses varie entre 28% et 38% pour respectivement, les maquettes 1 et 4. Par contre, les taux de réponses erronées est particulièrement bas avec un taux nul pour les maquettes 2 et 4. La maquette 4 affiche un très beau score : le cumul des deux notes les plus hautes totalise 76%.

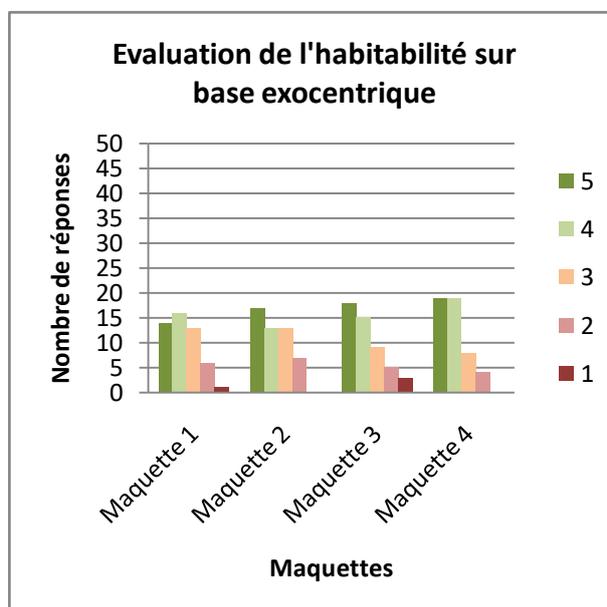


Figure 48 : Graphique de l'évaluation de l'habitabilité sur base exocentrique par les étudiants par maquette

Pour obtenir une vision globale, les notes de chaque maquette ont été multipliées par leur fréquence d'apparition et cumulées pour donner un résultat global sur 500. Ce chiffre correspond la multiplication des différents facteurs que sont : 10 questions, 10 participants et une note maximale de 5 par question. Le graphique ci-dessous met en évidence que la maquette 4 se distingue avec 75.8% alors que les maquettes 1, 2 et 3 se tiennent avec respectivement 70%, 71% et 70,4%.

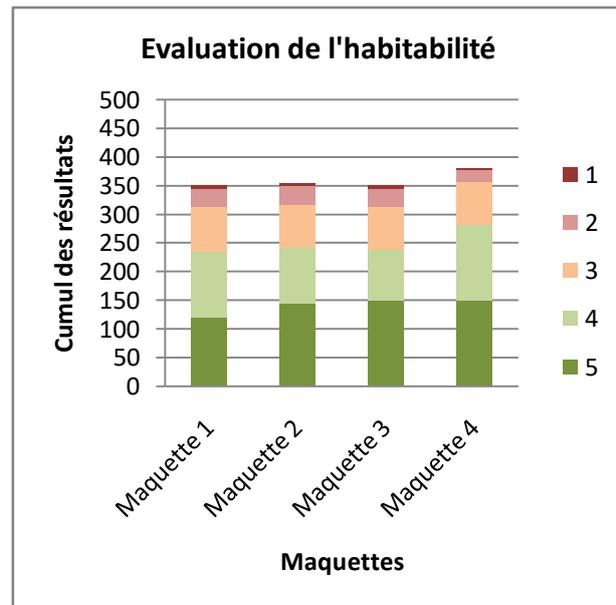


Figure 49 : Graphique du cumul des résultats des étudiants concernant l'habitabilité par maquette

En conclusion, ces résultats ne permettent pas de valider ou invalider clairement la sous-hypothèse. Cependant, les résultats de la maquette 4 sont supérieurs de 5.8 points par rapport à la maquette 3 et ceux de la maquette 2 ne sont supérieurs que de 1 point par rapport à la maquette 1. Ces faibles différences ne permettent pas de confirmer franchement que l'ameublement améliore la perception de l'habitabilité de la maison par les participants.

La distinction entre l'approche exocentrique et égocentrique met en évidence que les participants ont eu plus de facilité à évaluer l'habitabilité sur la base des distances entre des objets externes que sur la base de leur position par rapport aux éléments.

2.1.3. LA SOUS-HYPOTHÈSE RELATIVE AU SENTIMENT DE PRÉSENCE

S-H3 : Le degré de réalisme incluant l'ameublement et les textures (maquette 4) améliore le sentiment de présence des participants.

« An environment that contains a great deal of information to stimulate the senses should generate a strong sense of presence » (Witmer, et al., 1998). « Un

environnement qui contient beaucoup d'informations pour stimuler les sens générerait un fort sentiment de présence ». Ceci explique le choix de la troisième sous-hypothèse, dans le sens où la quantité d'informations dont parle Witmer est traduite par le degré de réalisme reprenant les textures et l'ameublement dans la maquette 4. Dès lors, dans un premier temps, l'analyse porte sur l'ensemble des données. Ensuite, les différentes parties du questionnaire sont analysées distinctement car, pour rappel, le questionnaire relatif au sentiment de présence est constitué d'une part du SUS questionnaire qui porte sur le sentiment de présence général et d'autre part, de l'IPQ et de questions rédigées personnellement. Ces deux derniers se subdivisent en trois parties : présence spatiale (immersion), implication et réalisme (voir Partie II – 1.3.1.2.6.).

Dans l'ensemble des questions, la position 5 sur l'échelle de Likert dénote un degré élevé de sentiment de présence. Dans un premier temps, j'utilise la méthode d'analyse du SUS Questionnaire (Slater, et al., 1994). Dans cette étude, Slater ne prend en considération que les deux scores les plus élevés, à savoir les réponses 4 et 5 dans mon expérience, pour déterminer le sentiment de présence des utilisateurs.

Le graphique ci-dessous met en évidence le nombre de réponses par maquette et par degré de sentiment de présence. En appliquant la méthode d'analyse de Slater, j'obtiens les pourcentages de 60,5% pour les maquettes non-meublées (maquettes 1 et 3) et 59,5% pour les maquettes meublées (maquettes 2 et 4). Ceci permet d'affirmer que, sur cette base, l'impact de l'ameublement est faible (différence de 1 point) et que celui de la texture est nul. Bien que la répartition des réponses soit disparate d'une maquette à l'autre, les moyennes par maquette sont de 3,6 (maquettes 1 et 4) et 3,7 (maquettes 2 et 3) sur 5.

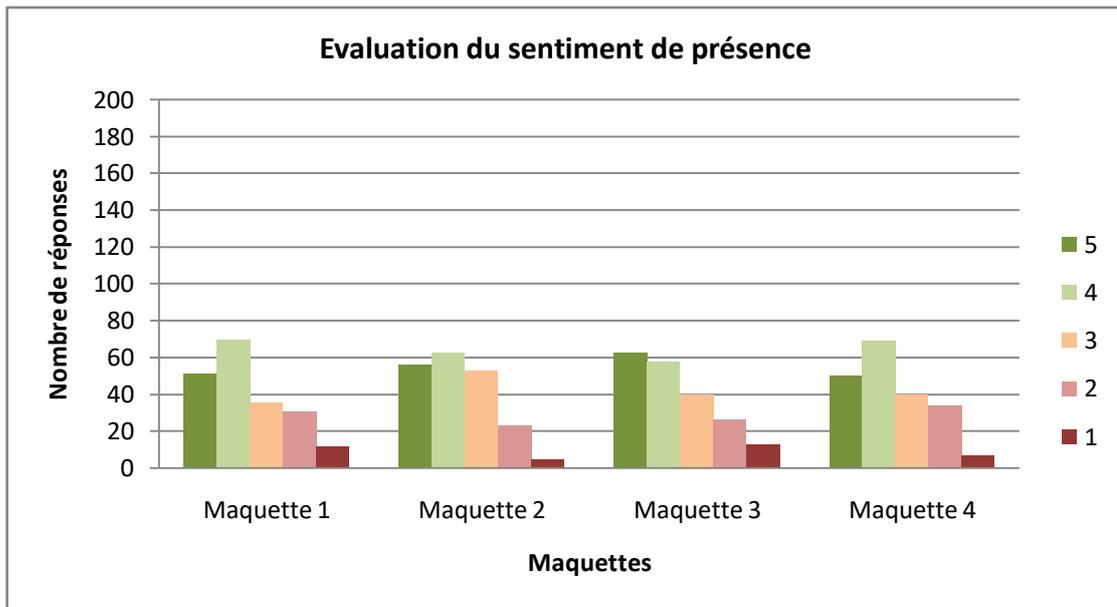


Figure 50 : Graphique de l'évaluation du sentiment de présence par les étudiants par maquette

Le sentiment de présence général est abordé au travers de 6 questions : P1 – P2 – P3 – P4 – P5 – P6. Dans un premier temps, les moyennes des résultats obtenus sont de 3,6 – 4,1 – 4,0 – 3,6 sur 5 pour, respectivement, les maquettes 1, 2, 3 et 4. Il est intéressant de constater que les médianes sont proches des moyennes.

	Maquette 1	Maquette 2	Maquette 3	Maquette 4
Moyennes	3,6	4,1	4,0	3,6
Médianes	3,7 – 3,8	4,0 – 4,2	4,2 – 4,2	3,5 – 3,7

Donc, la première constatation est que les maquettes 2 et 3 obtiennent un meilleur score que les deux autres avec une différence de 0,5 et 0,4 par rapport aux maquettes 1 et 4. Cependant, il est judicieux de se pencher également sur les valeurs extrêmes et l'étendue. Pour ce faire, j'ai pris en considération la moyenne des 6 questions par participant. Comme le montrent les graphiques ci-dessous, dans la maquette 1, les valeurs extrêmes sont de 2,2 et 4,3 ce qui implique une étendue de 2,1. Dans la maquette 2, les valeurs extrêmes sont de 3,5 et 4,5 avec, dès lors, une étendue de 1. Dans la maquette 3, les réponses oscillent entre 2,8 et 4,5 ce qui donne une étendue de 1,7. Et, dans la maquette 4, la valeur la plus basse est de 2,5

et la plus élevée est de 4,5 ; l'étendue est dès lors de 2. Je constate que l'étendue est la plus importante dans la maquette 1 et l'étendue la plus restreinte est dans la maquette 2. Ca implique que les avis sont plus divergents dans la maquette 1 et plus convergents dans la maquette 2.

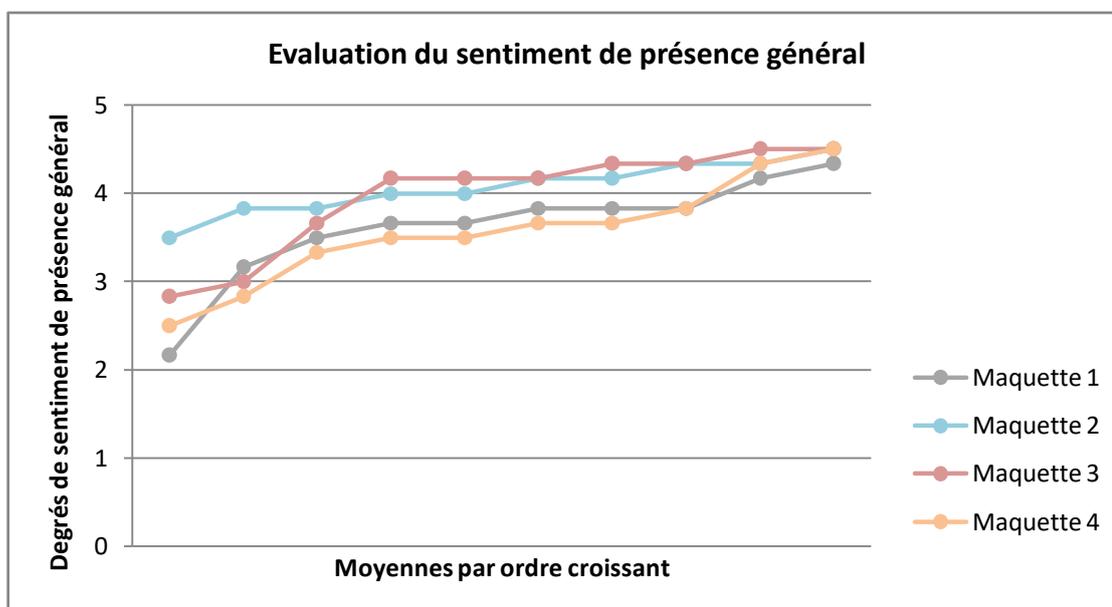


Figure 51 : Graphique de l'évaluation du sentiment de présence général par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette

Le sentiment de présence spatiale (immersion) porte sur 5 questions : P7 – P8 – P9 – P18 – P19. En analysant le tableau ci-dessous, les moyennes de ces 5 questions sont très proches. Seul un dixième distingue les maquettes 1 et 3 des maquettes 2 et 4. Par contre, il apparaît que la médiane de la maquette 1 est supérieure aux 3 autres.

	Maquette 1	Maquette 2	Maquette 3	Maquette 4
Moyennes	3,8	3,7	3,8	3,7
Médianes	4 – 4,2	3,6 – 3,6	3,6 – 3,6	3,8 – 3,8

Le graphique ci-dessous met en évidence que la maquette 1 enregistre une étendue de 2,4 points entre les valeurs extrêmes. C'est cette maquette qui enregistre

également le score le plus bas et le plus élevé. Ca témoigne de la divergence de perception de cette maquette en rapport avec la présence spatiale. La maquette 4 obtient une étendue de 2,2 points alors que les maquettes 2 et 3, avec une étendue de 1,6 points, témoignent de plus de cohérence dans les évaluations des participants.

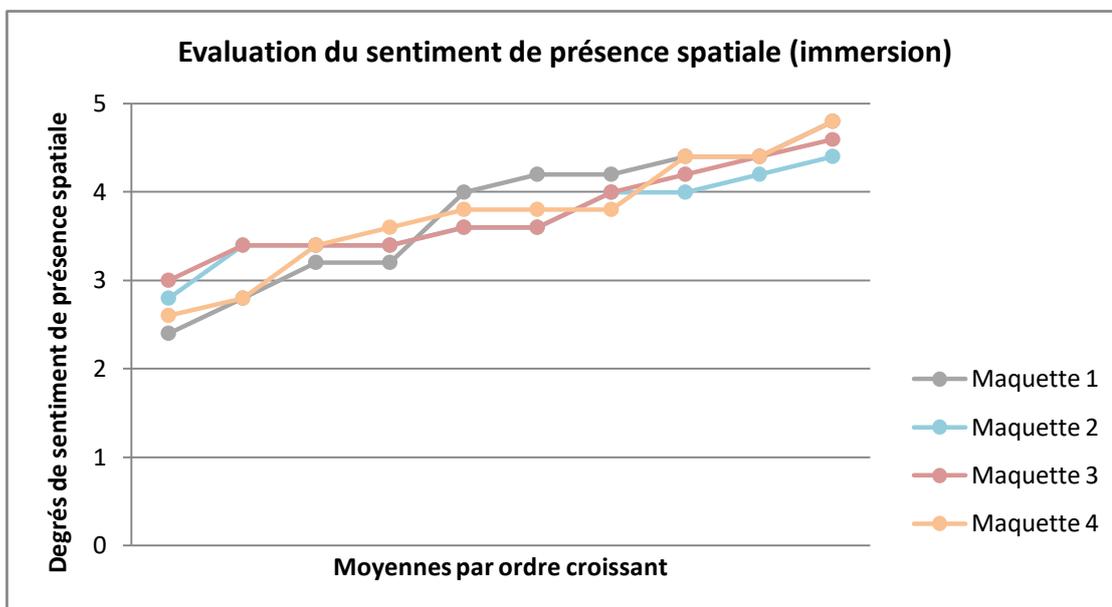


Figure 52 : Graphique de l'évaluation du sentiment de présence spatiale par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette

L'implication est évaluée au travers des 6 questions : P10 – P11 – P12 – P13 – P17 – P20. Dans le tableau, la moyenne de la maquette 3 est inférieure de 0,3 point par rapport aux maquettes 2 et 4. La maquette 1 n'est inférieure que de 0,1 point par rapport à ces deux dernières. En observant les médianes, il apparaît que la majorité des réponses des maquettes 1, 3 et 4 sont supérieures à la moyenne.

	Maquette 1	Maquette 2	Maquette 3	Maquette 4
Moyennes	3,6	3,7	3,4	3,7
Médianes	3,7 – 4	3,3 – 3,7	3,5 – 3,5	3,8 – 4,2

Dans le graphique d'évaluation du sentiment d'implication, les courbes ont tendance à s'étirer en raison des valeurs extrêmes écartées. Le cas le plus marqué est celui de

la maquette 3 où les valeurs s'étalent entre 2 et 5 sur une échelle de valeurs de 5. La maquette 1 oscille entre 2 et 4,5 avec une étendue de 2,5 points. Les maquettes 2 et 4 enregistrent les valeurs extrêmes de 2,7 et 5 ; ce qui induit une étendue de 2,3 points. Cette analyse permet de constater que le sentiment d'implication est perçu de manière très disparate par les participants quelle que soit la maquette.

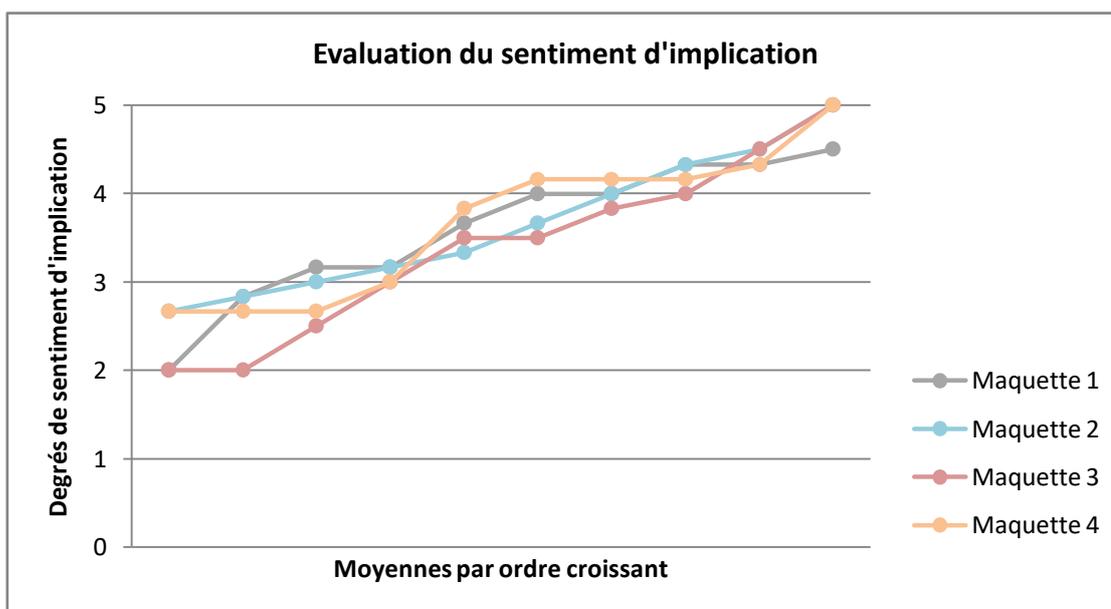


Figure 53 : Graphique de l'évaluation du sentiment d'implication par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette

Le réalisme est abordé dans 3 questions : P14 – P15 – P16. La différence entre les moyennes des différentes maquettes est faible à savoir 0,2 point. Les médianes des maquettes 1 et 4 sont supérieures aux moyennes mais c'est dans le cadre de la maquette 4 que c'est le plus marqué.

	Maquette 1	Maquette 2	Maquette 3	Maquette 4
Moyennes	3,2	3,2	3,4	3,3
Médianes	3,3 – 3,3	3,0 – 3,3	3,3 – 3,7	3,7 – 3,7

Dans le graphique ci-dessous, il apparaît que l'étendue la plus prononcée (2,3 points) est celle de la maquette 4 dont les valeurs extrêmes sont de 1,7 et 4. Les maquettes

1 et 2 ont des valeurs inférieures (2,3) et supérieures (4,0) identiques. Ces deux maquettes ont l'étendue la plus faible ce qui dénote une convergence des réponses des participants quant au réalisme. La maquette 3 obtient la valeur extrême la plus élevée de l'estimation du sentiment de réalisme : 4,3.

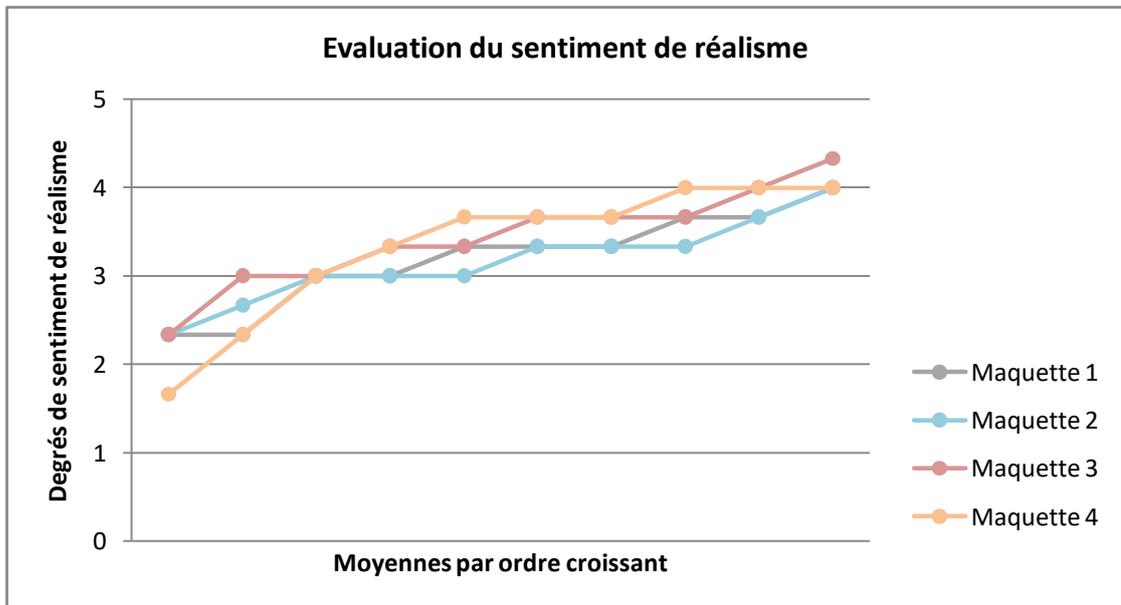


Figure 54 : Graphique de l'évaluation du sentiment de réalisme par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette

En conclusion, avant de valider ou non la sous-hypothèse, il est intéressant de constater que les moyennes des degrés de présence dans les 4 tableaux ci-dessus sont supérieures à 3 qui est la position centrale de l'échelle de Likert utilisée. Dès lors, au travers de ces moyennes, je constate que le curseur « présence » se situe au-delà du point neutre. Ceci témoigne que, quelle que soit la maquette, la majorité des participants se sont sentis présents dans l'environnement virtuel. En ce qui concerne la sous-hypothèse, l'expérience montre que le degré de réalisme de la maquette 4 (texturée et meublée) n'a été favorable que dans le cadre de l'implication. En effet, cette maquette obtient la moyenne de 3,7 sur l'échelle de 5 points, au même titre que la maquette 2. D'un point de vue global, 60,5% des participants se sont sentis présents dans l'EV pour les maquettes 1 et 3 contre 59,5% pour les maquettes 2 et 4. Par rapport aux items du SUS questionnaire, la maquette 2 obtient la meilleure

moyenne. Pour les questions relatives à l'immersion, ce sont les maquettes 1 et 3 qui enregistrent les moyennes les plus élevées. Pour terminer, la moyenne relative aux questions sur le réalisme de la maquette 3 est la plus haute. Par ailleurs, l'analyse des valeurs extrêmes et des étendues permet de mettre en évidence certaines valeurs aberrantes. C'est le cas de l'analyse du sentiment d'implication où l'étendue oscille entre 2,3 et 3 sur une échelle de 5 points. Dans le cadre de cette expérience, les résultats permettent d'invalider l'hypothèse selon laquelle le degré de réalisme incluant l'ameublement et les textures (maquette 4) améliore le sentiment de présence des participants.

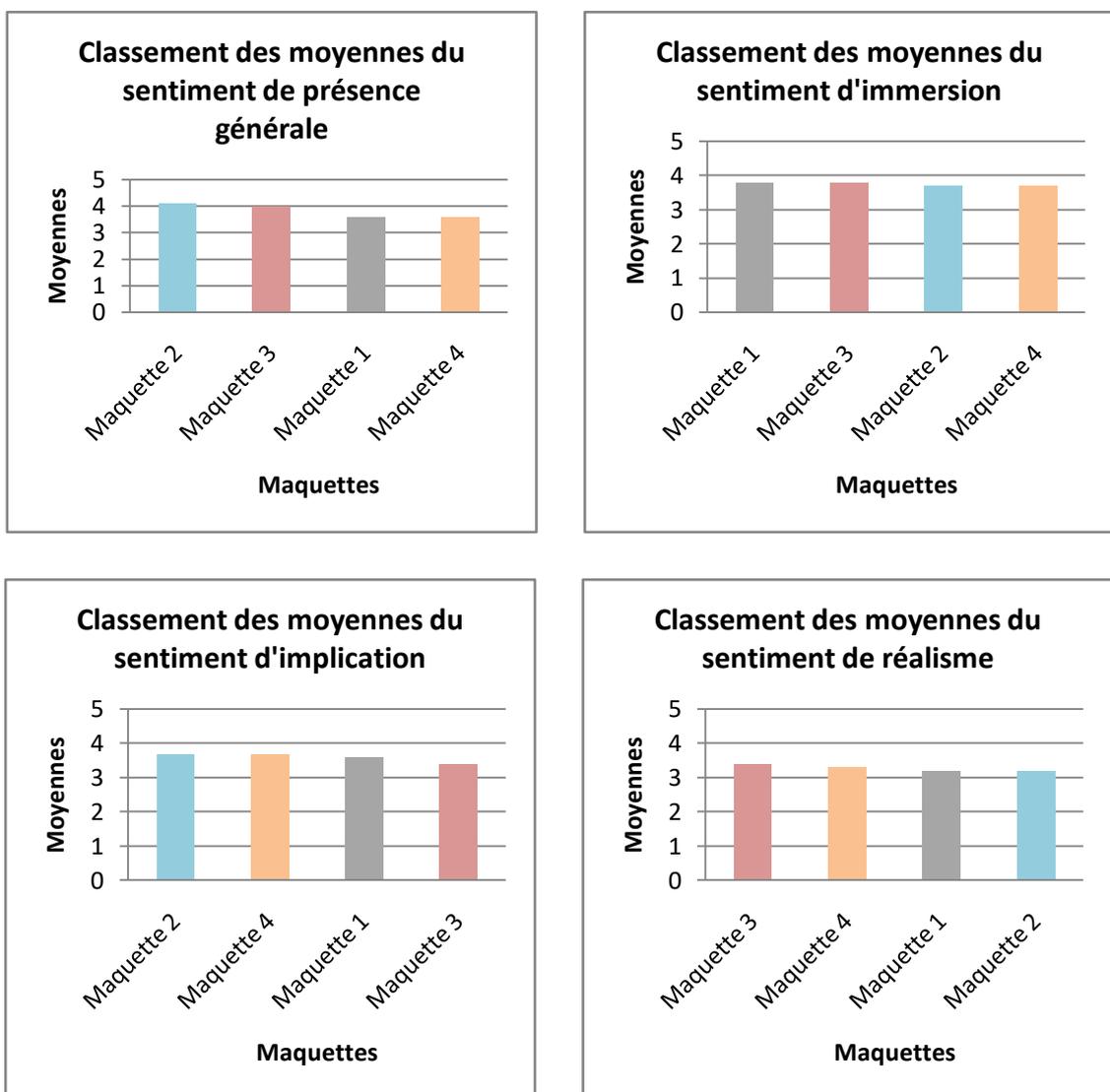


Figure 55 : Graphiques représentant le classement des maquettes par item

2.2. L'ANALYSE DES ENTRETIENS

Dans le cadre des entretiens, les participants ont exprimé leurs ressentis, leurs observations et leurs remarques éventuelles. J'ai choisi de recenser les mots, les expressions et/ou idées et de les regrouper dans un nuage de mots par maquette afin de mettre en évidence leur récurrence.

Dans les entretiens relatifs à la maquette 1, les mots et/ou expressions prépondérants sont « futur », « intéressant », « réaliste », « immersion » et « outil de revue de projet ».



Figure 56 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 1

Dans l'entretien par rapport à la maquette 2, les mots et/ou expressions les plus récurrentes sont « outil de revue de projet », « immersion » et « appréhender l'espace ».



Figure 57 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 2

Lors de l'entretien avec les participants qui ont visité la maquette 3, les mots et/ou expressions prédominants sont « outil de revue de projet », « réaliste », « futur » et « utile ».



Figure 58 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 3

Après la visite virtuelle de la maquette 4, les participants ont mentionné fréquemment les mots et/ou expressions suivantes : « outil de revue de projet », « immersion », « réaliste », « appréhender l'espace » et « positif ».



Figure 59 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 4

Ces nuages de mots sont le reflet de ce que les participants ont exprimé après la visite virtuelle et le questionnaire. La première réflexion commune aux quatre maquettes est que les expressions utilisées ont majoritairement une connotation positive. Quelques rares mots tels que « vertige », « enlève un côté créatif » ou « conscience de la technologie » ont une tendance plus négative mais ils sont minoritaires et peu répétés. Les trois pôles de l'entretien (voir Partie II – 1.3.2.) se retrouvent au travers de ces nuages de mots. Le premier est le ressenti global. Il transparait au travers des termes « réaliste », « immersion », « intéressant », « positif »... Les participants imaginent l'utilité de la RV en architecture principalement comme outil de revue de projet et comme le futur et un moyen important d'appréhender l'espace que ce soit pour l'architecte mais également et surtout pour les maîtres d'ouvrage. Les étudiants ont aussi la possibilité de mentionner tout autre point de vue qui n'aurait pas été exploité. Je retiens notamment qu'un participant a souligné l'intérêt écologique d'économiser du papier.

Globalement, les participants, lors des entretiens, étaient très enthousiastes quant à l'expérience qu'ils venaient de vivre et quant à l'utilisation de la RV dans leur futur métier d'architecte.

2.3. CONCLUSION DE L'EXPÉRIENCE

Pour rappel, l'hypothèse globale de l'expérience est : **le degré de réalisme de la visite virtuelle d'une habitation impacte l'évaluation des dimensions ainsi que le sentiment de présence.**

La première partie du questionnaire, portant sur les dimensions, a été scindée en l'estimation des mesures et celle de l'habitabilité. Dans le cadre de l'évaluation des mesures, la maquette avec des textures et non meublée (maquette 3) a obtenu les meilleurs résultats. De manière générale, les réponses aux questionnaires permettent de se rendre compte que l'estimation des dimensions est relativement correcte. Cependant, grâce à l'expérience, il apparaît que l'évaluation des longueurs, hauteurs est plus aisée que celle des largeurs et superficies. En ce qui concerne l'évaluation de l'habitabilité, le degré de réalisme avec les textures et les meubles (maquette 4) se distingue des autres finitions. Suite à l'expérience, il apparaît que l'approche exocentrique est plus bénéfique que l'approche égocentrique quant à l'appréciation de l'habitabilité : les participants ont eu plus de facilité à évaluer l'habitabilité sur la base des distances entre des objets externes que sur la base de leur position par rapport aux éléments.

La deuxième partie du questionnaire ne permet pas de distinguer clairement l'impact de l'un ou l'autre degré de finition sur le sentiment de présence. En effet, qu'ils soient en relation au sentiment de présence général, à l'immersion, à l'implication ou au réalisme, les résultats de ces groupes d'items ne permettent pas de distinguer une maquette par rapport aux autres. Deux facteurs concourent à cette constatation : d'une part la faiblesse au niveau des écarts observés et d'autre part, la variabilité dans l'ordre des résultats. Effectivement, en ce qui concerne les écarts, la différence entre les moyennes n'est pas marquante ni en prenant en considération les groupes d'items individuellement ni en se penchant sur les moyennes globales qui sont de 3,6 et 3,7 pour, respectivement, les maquettes 1 et 4 et les maquettes 2 et 3. Par ailleurs, la variabilité dans l'ordre des résultats des maquettes, quant à elle, ne permet pas d'établir un podium constant. D'un groupe d'items à l'autre, le classement varie et ne rend pas possible la distinction d'une maquette par rapport aux autres.

Lors des entretiens, les participants ont pu exprimer leurs ressentis et nuancer directement ou indirectement les réponses apportées dans le questionnaire. Il apparaît que les témoignages sont positifs et que les étudiants voient la RV comme un outil de revue de projet utile et sont prêts à l'intégrer dans leur futur métier d'architecte. Il semble y avoir des convergences et des divergences entre les résultats du questionnaire de présence et les entretiens. Convergence dans le sens où le mot « immersion » est récurrent aux nuages de mots des 4 maquettes ce qui conforte les résultats du questionnaire sur le sentiment de présence relatif au fait que l'immersion est ressentie de manière égale dans chacune des maquettes. Divergence du fait que le sentiment de présence global avec des notes de 3,6 et 3,7 sur une échelle de 5, est en deçà de ce que les participants exprimaient pendant l'entretien. Un autre aspect qui retient l'attention est le réalisme. Il apparaît de manière récurrente dans les 4 nuages de mots alors que les résultats relatifs au réalisme oscillent entre 3,2 et 3,4 sur une échelle de 5.

In fine, il n'est pas possible de confirmer ou d'infirmier en bloc l'hypothèse du travail. En effet, les sous-hypothèses aident à nuancer la réponse qui peut être apportée. La maquette texturée et non meublée (maquette 3) obtient les meilleurs résultats quant à l'estimation des mesures tandis que la maquette texturée et meublée (maquette 4) se distingue pour la sous-hypothèse relative à l'habitabilité. Par ailleurs, aucune maquette ne se démarque quant à la sous-hypothèse portant sur le sentiment de présence ni dans les entretiens.

2.4. LES LIMITES DE L'EXPÉRIENCE

Par rapport à une étude empirique quantitative, la première limite de mon expérience est que l'échantillon est restreint vu que le nombre de participants est de 40 répartis en 4 groupes. Ceci invalide la possibilité de transférer les résultats à la population ce qui implique que la représentativité de mon échantillon est limitée et n'est statistiquement pas significative. Mon étude permet d'avoir une première approche qui pourrait être validée par une étude avec une représentativité plus large.

Par ailleurs, le choix des variables indépendantes invoquées (la tranche d'âge, le niveau d'étude...) a comme conséquence que le public de l'expérience est la génération Z. Ce biais implique que les participants sont à l'aise avec l'outil informatique, les jeux vidéo et que certains ont déjà une expérience en RV (18 sur 40 participants). En effet, « *On qualifie la génération Z de « digital natives » puisqu'ils sont nés avec le numérique, contrairement à la génération précédente, la génération Y, qualifiée de « digital adopters », car elle s'est adaptée au numérique* » (Gentina, et al., 2018). Ceci est un atout dans la prise en main du matériel et dans son utilisation intuitive ce qui diminue, notamment, le besoin d'instructions et d'explications (cf. Partie I – 2.2.2.). Or, la facilité d'usage du matériel par l'utilisateur rend les actions plus naturelles et impacte les résultats. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que la génération Z constitue les utilisateurs de demain tant dans le rôle de l'architecte que dans celui du client. De plus, « *...there is a continuum rather than a rigid dichotomy between digital natives and digital immigrants...* » (Wang, et al., 2013). «*... il existe un continuum plutôt qu'une dichotomie rigide entre les natifs numériques et les immigrants numériques...* ».

CONCLUSION

CONCLUSION

Parce qu'il vaut mieux prévenir que guérir, je choisis de mener une expérience qui apporte sa pierre à l'édifice quant à l'amélioration de la perception du projet par le maître d'ouvrage. En effet, « *il demeure une différence importante entre l'idée de départ et le bâtiment finalisé, entre l'aspect formel et expérientiel.* » et une solution pour réduire le fossé serait de « *... réduire dès le départ l'écart entre les perceptions, les priorités, les idéaux.* » (Defays, et al., 2018)

La réalité virtuelle peut être l'outil d'avenir facilitateur en architecture. Si tel est le cas, quel est le degré de réalisme nécessaire pour améliorer la compréhension d'un projet par des maîtres d'ouvrage potentiels ? Quel en est l'impact sur l'estimation des mesures et sur le sentiment de présence ?

Parcourir la littérature relative à la réalité virtuelle, aux méthodes d'évaluation de la perception des distances mais aussi au sentiment de présence me permet d'établir un socle sur lequel ancrer mon expérience.

En effet, dans la théorie sur la RV, j'aborde, notamment, les caractéristiques du matériel pour effectuer un choix éclairé et motivé lors de la sélection du casque et des logiciels nécessaires à la mise en place de mon expérience. Stéréoscopie, cave, temps de latence, pixels par degré, tracking... sont autant de termes qui investissent mon vocabulaire et qui prennent une tournure bien plus claire.

L'approche théorique des aspects cognitifs m'éclaire quant à l'importance de la perception multi-sensorielle de l'être humain et sur la potentialité de la RV d'en stimuler les sensations extéroceptives et proprioceptives physiques. De plus, la prise en considération des facteurs « système visuel » et « perception visuelle » est déterminante dans la qualité de la réalisation d'un environnement virtuel.

Les lectures me font également prendre conscience que l'aspect technologique et les facteurs émotionnels sont intimement liés et que le sentiment de présence ne repose pas uniquement sur l'immersion et l'interaction mais aussi sur le fond et l'implication.

L'approche de la RV est complexe et multifactorielle et nécessite aussi la prise en considération de phénomènes tels que « the Book Problem » de Biocca et l'illusion perceptive de non médiation de Lombard et Ditton.

Riche de cette base théorique, je m'attèle à la partie expérimentale. Mon objectif majeur est de définir le degré de réalisme le plus opportun pour optimiser la perception des dimensions et le sentiment de présence lors de la visite d'une habitation en réalité virtuelle.

Pour des raisons temporelles et techniques, l'objectif du nombre de participants est fixé à 40. Le panel étant limité, je choisis de restreindre au maximum l'impact des variables indépendantes invoquées en ciblant les étudiants de bac 1 de la faculté d'architecture de l'ULiège. Je me focalise sur les variables indépendantes provoquées au nombre de quatre. Elles sont le résultat du croisement de 2 degrés de texture et de 2 degrés d'ameublement visant à obtenir 4 maquettes. Les variables dépendantes, à savoir la perception des dimensions et le sentiment de présence, ne sont pas directement mesurables. Par conséquent, la formulation de bons indicateurs est nécessaire lors de la rédaction du questionnaire.

En abordant l'analyse, les 3 sous-hypothèses que j'émetts apportent un éclairage sur la perception des mesures, de l'habitabilité et sur le sentiment de présence. La première met en évidence que le degré de réalisme texturé et non meublé améliore la perception des mesures par les participants. Dans le cadre de la deuxième, aucune maquette ne se distingue par rapport aux autres. Cependant, les résultats mettent en exergue que l'approche exocentrique facilite l'évaluation de l'habitabilité ce qui implique que la présence d'objets est un atout. L'analyse de la dernière sous-hypothèse est plus complexe. Je note que, quelle que soit la maquette, la majorité des participants se sont sentis présents dans l'environnement virtuel. Par ailleurs, que ce soit de manière générale ou en analysant individuellement l'immersion, l'implication et le réalisme, les résultats des 4 maquettes sont très proches et ne permettent pas d'affirmer quel degré de réalisme maximise le sentiment de présence.

De surcroît, l'entretien, analysé sous la forme de nuages de mots, fait ressortir l'utilisation des termes « réaliste », « immersion » et « intéressant » communs aux quatre degrés de réalisme. La fréquence de l'emploi de ces mots accentue les résultats du questionnaire sur le

sentiment de présence. Par ailleurs, les participants voient l'utilisation de la réalité virtuelle en architecture comme un outil de revue de projet et comme faisant partie du futur de la profession.

Cette dernière remarque m'amène à relever que ce positionnement reflète le caractère « futurs architectes » des participants et la limite qui est aussi le cadre posé et voulu au départ, de mon travail. La question mérite une étude plus approfondie avec un panel plus large prenant en considération les variables dépendantes invoquées telles que l'âge, le milieu social, le niveau d'étude... des participants.

En outre, l'utilisation de la RV en tant qu'outil de revue de projet dans le domaine de l'architecture peut être affinée en vue de déterminer le ou les moments les plus opportuns pour son emploi et ce, en fonction du statut des différents intervenants, du contexte et du panel des possibilités qu'elle offre.

Au-delà du travail réalisé, l'engouement rencontré, tant de la part des participants à l'expérience que de la part de toutes les personnes avec lesquelles j'ai pu m'entretenir de mon TFE, me conforte dans l'idée que la réalité virtuelle a du potentiel en architecture. Elle apporte une immersion, une vision novatrice d'espaces imaginaires destinés à devenir réels.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Arguinbaev, Marat. 2017.** What is Fishtank VR? *The VR Soldier*. [En ligne] 04 octobre 2017. [Citation : 28 janvier 2021.].
<https://thevrsoldier.com/what-is-fishtank-vr/>
- Arnaldi, B., Fuchs, P. et Tisseau, J. 2003.** *Traité de la réalité virtuelle*. Paris : Presse des Mines, 2003.
- Arnaldi, Bruno, Guitton, Pascal et Moreau, Guillaume. 2018.** *Réalité virtuelle et réalité augmentée, mythes et réalité*. London : ISTE, 2018.
- Barfield, W. et Weghorst, S. 1993.** The sense of presence within virtual environments : A conceptual framework. [éd.] Elsevier Publisher. *Human-Computer Interaction: Software and Hardware Interfaces*. s.l. : G. Slavendy and M Smith, 1993. Vol. B, p. 690-704.
- Barnard, Dom. 2019.** Degrees of Freedom (DoF): 3-DoF vs 6-DoF for VR Headset Selection. *Virtualspeech*. [En ligne] 05 mai 2019. [Citation : 22 janvier 2021.].
<https://virtualspeech.com/blog/degrees-of-freedom-vr>
- Biocca, Frank. 2003.** Can we resolve the book, the physical reality, and the dream state problems? From the two-pole to a three-pole model of shifts in presence. *ResearchGate*. [En ligne] 2003. [Citation : 30 janvier 2021.].
https://www.researchgate.net/publication/228788322_Can_we_resolve_the_book_the_physical_reality_and_the_dream_state_problems_From_the_two-pole_to_a_three-pole_model_of_shifts_in_presence
- Boger, Yuval. 2017.** Understanding Pixel Density & Retinal Resolution, and Why It's Important for AR/VR Headsets. *Road to VR*. [En ligne] 10 avril 2017. [Citation : 22 janvier 2021.].
<https://www.roadtovr.com/understanding-pixel-density-retinal-resolution-and-why-its-important-for-vr-and-ar-headsets/>
- Boger, Yuval. 2017.** Understanding Predictive Tracking and Why It's Important for AR/VR Headsets. *Road to VR*. [En ligne] 26 avril 2017. [Citation : 21 janvier 2021.].
<https://www.roadtovr.com/understanding-predictive-tracking-important-arvr-headsets/>.
- Bouvier, P. 2009.** La présence en réalité virtuelle, une approche centrée utilisateur. Thèse de doctorat en informatique. s.l. : Université de Paris-Est, 2009.
-

Bowman, Doug. 1999. ResearchGate. *Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments: Design, Evaluation, and Application*. [En ligne] 1999. [Citation : 16 janvier 2021.].

https://www.researchgate.net/publication/2641457_Interaction_Techniques_for_Immersive_Virtual_Environments_Design_Evaluation_and_Application/citation/download

Briggs, John C. 1996. The Promise of Virtual Reality. [éd.] World Future Society. *The Futurist*. Septembre-octobre 1996, Vol. 30, 5, p. 13.

Collins Dictionary. 2020. Collins dictionary. *Collins dictionary*. [En ligne] 2020.

<https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english-french>

de Sardan, Jean-Pierre Olivier. 2003. L'enquête socio-anthropologique de terrain : synthèse méthodologique et recommandations à usage des étudiants. *Lasdel*. [En ligne] Octobre 2003.

http://www.lasdel.net/images/etudes_et_travaux/L_enqu%C3%AAtes_socio_anthropologique_de_terrain_synth%C3%A8se_méthodologique_et_recommandations_a_usage_des_etudiants.pdf

Defays, Aurore et Elsen, Catherine. 2018. Architecte et maître d'ouvrage: main dans la main, ou dos à dos ? *Archinews*. 2018, Vol. 18, p. 15-21.

Dodgson, Neil Anthony. 2004. Variation and extrema of human interpupillary distance. *ResearchGate*. [En ligne] Janvier 2004.

https://www.researchgate.net/publication/229084829_Variation_and_extrema_of_human_interpupillary_distance. DOI:10.1117/12.529999

Doodle. Doodle. [En ligne] [Citation : 29 mars 2021.].

<https://doodle.com/fr/>

Epstein, W. et Rogers, S. 1995. *Handbook of perception and cognition*. San Diego : Academic Press, 1995. Vol. 5.

France Terme. 2007. Vocabulaire des techniques de l'information et de la communication. *Ministère français de la culture - France Terme*. [En ligne] 20 avril 2007. [Citation : 06 novembre 2020.].

<http://www.culture.fr/franceterme/result?francetermeSearchTerme=r%C3%A9alit%C3%A9+de+synth%C3%A8se&francetermeSearchDomaine=0&francetermeSearchSubmit=rechercher&action=search>

Fuchs, P. 1996. *Les Interfaces de la réalité virtuelle*. Paris : Les Presses de l'Ecole des Mines, 1996.

- Fuchs, P., Moreau, G. et Papin, J-P. 2001.** *Traité de la réalité virtuelle*. Paris : Presse de l'Ecole des Mines, 2001.
- Fuchs, P. 2018.** *Théorie de la réalité virtuelle. Les véritables usages*. Paris : Presses des MINES, collection Mathématiques et informatique, 2018.
- Gentina, Elodie et Delécluse, Marie-Eve. 2018.** *Génération Z. Des Z consommateurs aux Z collaborateurs*. Paris : Dunod, 2018.
- Geuss, M. N., Stefanucci, J. K., Creem-Regehr, S. H. et Thompson, W. B. 2010.** Can I pass? Using affordances to measure perceived size in virtual environments. *ACM Digital Library*. [En ligne] Juillet 2010. [Citation : 01 décembre 2020.] Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1836248.1836259>
- Gibson, James J. 1966.** *The senses considered as a perceptual system*. Boston : Houghton, Mifflin, 1966.
- Guerraz, Michel, Gianna, Claire C., Burchill, Peter M., Gresty, Michael A. et Bronstein, Adolfo M. 2001.** Effect of visual surrounding motion on body sway in a three-dimensional environment. *Perception & Psychophysics*. Janvier 2001, Vol. 63, 1, p. 47-58.
- Gutierrez, Mario A., Vexo, Frédéric et Thalmann, Daniel. 2008.** *Stepping into Virtual Reality*. Londres : Springer, 2008.
- Hand, Chris. 1997.** A Survey of 3D Interaction Techniques. *ResearchGate*. [En ligne] Décembre 1997. [Citation : 16 janvier 2021.]. https://www.researchgate.net/publication/220507553_A_Survey_of_3D_Interaction_Techniques
- Hanlon, Mike. 2005.** The VirtuSphere: full body immersion Virtual reality at last. *New Atlas*. [En ligne] 12 novembre 2005. [Citation : 14 janvier 2021.]. <https://newatlas.com/the-virtusphere-full-body-immersion-virtual-reality-at-last/4833/>
- Hatwell, Y. 1994.** *Traité de psychologie expérimentale*. Paris : P.U.F., 1994.
- Hendrix, Claudia et Barfield, Woodrow. 1996.** *Presence within Virtual Environments as a Function of Visual Display Parameters*. Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 1996.

- Huvelin, Grégoire. 2020.** Le casque de réalité virtuelle StarVR One et son champ de vision à 210° est enfin prêt. *Clubic*. [En ligne] 10 avril 2020. [Citation : 01 juin 2021.].
<https://www.clubic.com/casque-vr/actualite-891459-casque-realite-virtuelle-starvr-champ-vision.html>
- Igroup.** Igroup presence questionnaire (IPQ) Item Download. *igroup*. [En ligne] [Citation : 10 novembre 2020.].
<http://www.igroup.org/pq/ipq/download.php>
- IrisVR.** Pricing. *Iris VR*. [En ligne] [Citation : 28 novembre 2020.].
<https://irisvr.com/pricing/>
- Jeanne. 2020.** [Comparatif] Meilleurs casques de réalité virtuelle | 2020. *Réalité-Virtuelle.com*. [En ligne] Octobre 2020. [Citation : 02 novembre 2020.].
<https://www.realite-virtuelle.com/guide-comparatif-casque-vr/>
- Jeanne. 2021.** Guide et comparatif des casques de réalité virtuelle. *RV Le Magazine de la Réalité Virtuelle & Augmentée*. [En ligne] 2021. [Citation : 21 janvier 2021.].
<https://www.realite-virtuelle.com/guide-comparatif-casque-rv/>
- Kaeser, Pierre-François et Klainguti, Georges. 2012.** Ophtalmologie. *Revue médicale suisse*. [En ligne] 18 janvier 2012. [Citation : 13 juillet 2021.].
<https://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2012/revue-medicale-suisse-324/ophtalmologie#tab=tab-toc>
- Klein, E., Swan, J. E., Schmidt, G. S., Livingston, M. A. et Stadt, O. G. 2009.** Measurement protocols for medium-field distance perception in large-screen immersive displays. *Proceedings of the 2009 IEEE Virtual Reality Conference*. Avril 2009, p. 107-113.
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M. et Hamm, A. O. 1993.** Looking at pictures : affective, facial, visceral and behavioral reactions. *Psychophysiology*. 01 mai 1993, Vol. 30, 3, p. 261-273.
- Lessiter, Jane, Freeman, Jonathan, Edmund, Keogh et Jules, Davidoff. 2001.** A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*. MIT Press, Juin 2001, Vol. 10, 3, p. 282-297.
- Likert, Rensis. 1932.** *A technique for the measurement of attitudes*. s.l. : Archives of Psychology, 1932. Vol. 140.
- Lombard, Matthew et Ditton, Theresa. 1997.** At the Heart of It All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*. 2, 1997, Vol. 3, JCMC321.

- Loomis, Jack M. et Knapp, Joshua M. 2004.** Limited Field of View of Head-Mounted Displays Is Not the Cause of Distance Underestimation in Virtual Environments. *Presence*. MIT Press, Octobre 2004, Vol. 13, 5, p. 572-577.
- Martin, Arnaud. 2018.** Nirli, découvrir son futur chez soi en réalité virtuelle. *Trends Tendances*. [En ligne] 07 juin 2018. [Citation : 10 décembre 2020.].
<https://trends.levif.be/economie/immo/nirli-decouvrir-son-futur-chez-soi-en-realite-virtuelle/article-normal-849817.html>
- Mertens, A, Yönder, C., Hamarat, Y. et Elsen, C. 2020.** La "Co-conception" en architecture domiciliaire : analyse des pratiques et résistances praticiennes. [En ligne] 2020. [Citation : 10 janvier 2021.].
https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/250951/1/Co-concevoir%20en%20architecture_MERTENS_Y%C3%96NDER_HAMARAT_ELSEN.pdf
- Neufert, Ernst. 2014.** *Neufert : les éléments des projets de construction*. 11ème édition revue et augmentée. Paris : Dunod , 2014.
- Nirli.eu.** Nirli. *Nirli*. [En ligne] [Citation : 10 décembre 2020.].
<https://www.nirli.eu/>
- Nouten, Sven et Liebart, Jean-Pierre. 2020.** *Rapport annuel 2019 - Bâtisseurs d'avenir*. Bruxelles : Confédération construction Robert de Muelenaere, 2020.
- Oculus.** Comparer les casques. *Oculus*. [En ligne] [Citation : 02 novembre 2020.].
<https://www.oculus.com/compare/>
- Oculus.** Quest 2. *Oculus*. [En ligne] [Citation : 04 juillet 2021.].
<https://www.oculus.com/quest-2/>
- Oculus.** What's IPD and how do I adjust it on my Oculus Quest 2 or Quest? *Support Oculus*. [En ligne] [Citation : 07 juillet 2021.].
<https://support.oculus.com/articles/getting-started/getting-started-with-quest-2/ipd-quest-2>
- Patterson, Robert. 2007.** Human factors of 3-D displays. *Society for information display*. s.l. : John Wiley and Sons, 2007, Vol. 15, p. 861-871.
- Peer, Alex et Ponto, Kevin. 2017.** Evaluating perceived distance measures in room-scale spaces using consumer-grade head mounted displays. *Proceedings - 2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*. Janvier 2017, p. 83-86.

Piryankova, Ivelina V., de la Rose, Stephan, Kloos, Uwe, Bulthoff, Heinrich H. et Mohler, Betty J. 2013. Egocentric distance perception in large screen immersive displays. *Displays*. 2013, Vol. 34, 2, p. 153-164.

PlayStation. PlayStation VR. *PlayStation*. [En ligne] [Citation : 03 novembre 2020.].
<https://www.playstation.com/fr-be/ps-vr/?smcid=fdc%3Afr-be%3Aps-vr%3Aprimary%20nav%3Amsg-hardware%3Aps-vr>

Riva, Giuseppe. 2020. Virtual reality. *The Palgrave Encyclopedia of the Possible*. [En ligne] 4 mars 2020. [Citation : 15 septembre 2020.].
https://doi.org/10.1007/978-3-319-98390-5_34-1

Schubert, Thomas, Friedmann, Frank et Regenbrecht, Holger. 2001. The Experience of Presence : Factor analytic insights. *Presence : Teleoperators & Virtual Environments*. MIT Press, Juin 2001, Vol. 10, 3, p. 266-281.

Schultheis, M. T. et Rizzo, A. 2001. The application of virtual reality technology in rehabilitation. *ResearchGate*. [En ligne] 2001. [Citation : 15 septembre 2020.].
https://www.researchgate.net/publication/232580487_The_application_of_virtual_reality_technology_in_rehabilitation

Sherrington, C. S. 1906. *The Integrative Action of the Nervous System*. New Haven : Yale University Press, 1906.

Sinai, M. J., Krebs, W. K., Darken, R. P., Rowland, J. H. et McCarley, J. S. 1999. Egocentric Distance Perception in a Virtual Environment using a Perceptual Matching Task. [éd.] Human Factors and Ergonomics Society. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 1999, Vol. 43, 22, p. 1256-1260.

Slater, Mel. 2003. A note on presence terminology. *ResearchGate*. [En ligne] Janvier 2003. [Citation : 10 janvier 2021.].
https://www.researchgate.net/publication/242608507_A_Note_on_Presence_Terminology

Slater, Mel et Usoh, Martin. 1999. Body Centred Interaction in Immersive Virtual Environments. *ResearchGate*. [En ligne] Juin 1999. [Citation : 12 janvier 2021.].
https://www.researchgate.net/publication/2646214_Body_Centred_Interaction_in_Immersive_Virtual_Environments

Slater, Mel et Wilbur, Sylvia. 1997. A framework for immersive virtual environments five: Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1997, Vol. 6, 6, p. 606-616.

- Slater, Mel. 2004.** How colorful was your day? Why questionnaires cannot assess presence in virtual environments. *Presence : Teleoperators & Virtual Environments*. MIT Press, Août 2004, Vol. 13, 4, p. 484-493.
- Slater, Mel, Usoh, Martin et Steed, Anthony. 1994.** Depth of Presence in Virtual Environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*. 1994, Vol. 3, 2, p. 130-144.
- Spector, Robert H. 1990.** *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations. 3rd edition*. Boston : Walker HK, Hall WD, Hurst JW, editors, 1990.
- Stals, Adeline, Jancart, Sylvie et Elsen, Catherine. 2016.** How do small and medium architectural firms deal with architectural complexity? A look into digital practices. *Proceedings of the 34th eCAADe annual conference: Complexity and Simplicity*. Oulu : s.n., 2016, p. 159-168.
<http://hdl.handle.net/2268/196234>
- Statbel. 2020.** Statbel. [En ligne] 2020. [Citation : 22 décembre 2020].
<https://statbel.fgov.be/fr>
- Stefanucci, Jeanine K., Creem-Regehr, Sarah H., Thompson, William B., Lessard, David A. et Geuss, Michael N. 2015.** Evaluating the Accuracy of Size Perception on Screen-Based Displays: Displayed Objects Appear Smaller Than Real Objects. [éd.] American Psychological Association. *Journal of experimental psychology : Applied*. Septembre 2015, Vol. 21, 3, p. 215-223.
- Vive. Product. Vive.** [En ligne] [Citation : 02 novembre 2020].
<https://www.vive.com/fr/product/#all>
- Wang, Qiyan, Myers, Michael David et Sundaram, David. 2013.** Digital Natives and Digital Immigrants. *ResearchGate*. [En ligne] Décembre 2013. [Citation : 28 juillet 2021].
https://www.researchgate.net/publication/269349851_Digital_Natives_and_Digital_Immigrants
- Wang, Yi, Otitoju, Kunmi, Liu, Tong, Kim, Sijung et Bowman, Doug A. 2006.** Evaluating the effects of real world distraction on user performance in virtual environments. *ResearchGate*. [En ligne] Janvier 2006. [Citation : 12 janvier 2021].
https://www.researchgate.net/publication/221314174_Evaluating_the_effects_of_real_world_distraction_on_user_performance_in_virtual_environments.

Welch, Robert B., Blackmon, Theodore T., Liu, Andrew, Mellers, Barbara A. et Stark, Lawrence A. 1996. The Effects of Pictorial Realism, Delay of Visual Feedback, and Observer Interactivity on the Subjective Sense of Presence. [éd.] Massachusetts Institute of Technology. *Presence*. 1996, Vol. 5, 3, p. 263-273.

Wiederhold, Brenda K., Jang, Dong P., Kaneda, Mayumi, Cabral, Irene, Lurie, Yair, May, Todd, Kim, In I., Wiederhold, Mark D. et Kim, Sun I. 2003. An investigation into physiological responses in virtual environments : an objective measurement of presence. [auteur du livre] Giuseppe Riva et Carlo Galimberti. *Towards cyberpsychology : Mind, cognition, and society in the internet age*. Amsterdam : IOS Press, 2003.

Witmer, Bob G. et Singer, Michaël J. 1998. Measuring presence in virtual environments : A presence questionnaire. *Presence : Teleoperators & virtual environments*. MIT Press, Juin 1998, Vol. 7, 3, p. 225-240.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES ILLUSTRATIONS

- Figure 0 : Illustration de la visite d'une habitation en réalité virtuelle*
<http://www.theaugmentedreality.fr/secteur-realite-augmentee/realite-augmentee-immobilier/>
- Figure 1 : Représentation de la boucle sensori-motrice de la réalité virtuelle* P.9
Réalisation personnelle
- Figure 2 : Nirli, découvrir son futur chez soi en réalité virtuelle* P.12
<https://trends.levif.be/economie/immo/nirli-decouvrir-son-futur-chez-soi-en-realite-virtuelle/article-normal-849817.html> © Elodie Timmermans
- Figure 3 : Positionnement des capteurs outside-in* P.14
https://www.vive.com/fr/support/cosmos-elite/category_howto/planning-your-play-area.html
- Figure 4 : Capteurs inside-out* P.14
<https://arstechnica.com/gaming/2017/10/valve-announces-the-first-big-steamvr-2-0-feature-waaay-more-space/>
- Figure 5 : Différence entre 3 DoF (rotation) et 6 DoF (rotation et translation)* P.15
<https://virtualspeech.com/blog/degrees-of-freedom-vr>
- Figure 6 : Classification en partie erronée des sensations selon Sherrington* P.18
Fuchs, Philippe. 2018. *Théorie de la réalité virtuelle. Les véritables usages*. Paris : Presses des MINES, collection Mathématiques et informatique, 2018, p.42.
- Figure 7 : Graphique de la distribution de l'utilisation des sens dans la perception d'informations par un sujet voyant selon Hatwell* P.20
Réalisation personnelle
- Figure 8 : Illustration du principe de la stéréopsie* P.22
Kaeser, Pierre-François and Klainguti, Georges. 2012. *Ophtalmologie - La stéréoscopie sur le devant de la scène. Revue médicale Suisse*. 18 janvier 2012, Vol. 2, 324, p.101.

<i>Figure 9 : Illustration du phénomène de parallaxe de mouvement</i>	P.23
Guerraz, Michel, et al. 2001. Effect of visual surrounding motion on body sway in a three-dimensional environment. <i>Perception & Psychophysics</i> . Janvier 2001, Vol. 63, 1, p.48.	
<i>Figure 10 : Représentation, à deux pôles, du sentiment de présence initialement utilisée</i>	P.26
https://www.researchgate.net/publication/228788322_Can_we_resolve_the_book_the_physical_reality_and_the_dream_state_problems_From_the_two-pole_to_a_three-pole_model_of_shifts_in_presence	
<i>Figure 11 : Représentation, à trois pôles, du sentiment de présence selon Biocca</i>	P.27
https://www.researchgate.net/publication/228788322_Can_we_resolve_the_book_the_physical_reality_and_the_dream_state_problems_From_the_two-pole_to_a_three-pole_model_of_shifts_in_presence	
<i>Figure 12 : VirtuSphere</i>	P.30
https://newatlas.com/the-virtusphere-full-body-immersion-virtual-reality-at-last/4833/	
<i>Figure 13 : Concordance entre les sensations proprioceptives du soi virtuel et du soi réel</i>	P.31
Image prise personnellement	
<i>Figure 14 : Logo de SketchUp Viewer</i>	P.36
https://www.sketchup.com/fr/products/sketchup-viewer	
<i>Figure 15 : Logo de Unity</i>	P.36
https://unity.com/	
<i>Figure 16 : Logo de Iris VR</i>	P.36
https://irisvr.com/	
<i>Figure 17 : Oculus Quest</i>	P.38
https://www.oculus.com/quest/features/	
<i>Figure 18 : Oculus Quest 2</i>	P.38
https://www.oculus.com/quest-2/	

<i>Figure 19 : Oculus Rift S</i> https://www.oculus.com/rift-s/features/	P.38
<i>Figure 20 : Graphique de la répartition des logements en appartement ou en bâtiment avec un seul logement en Région wallonne en 2019</i> Réalisation personnelle	P.40
<i>Figure 21 : Graphique de la répartition des maisons en maisons fermées, demi-fermées ou ouvertes en Région wallonne en 2020</i> Réalisation personnelle	P.40
<i>Figure 22 : Graphique de la répartition des habitations sur base de leur superficie en Région wallonne en 2020</i> Réalisation personnelle	P.40
<i>Figure 23 : Image de la maquette 1 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.41
<i>Figure 24 : Image de la maquette 2 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.41
<i>Figure 25 : Image de la maquette 3 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.41
<i>Figure 26 : Image de la maquette 4 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.41
<i>Figure 27 : Plans DWG de l'habitation sur laquelle est basée l'expérience</i> Réalisation personnelle	P.42
<i>Figure 28 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 1 en SketchUp</i> Capture d'écran dans SketchUp	P.43
<i>Figure 29 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 2 en SketchUp</i> Capture d'écran dans SketchUp	P.43
<i>Figure 30 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 3 en SketchUp</i> Capture d'écran dans SketchUp	P.43

<i>Figure 31 : Plan en perspective du R+1 de la maquette 4 en SketchUp</i> Capture d'écran dans SketchUp	P.43
<i>Figure 32 : Interface d'accueil de Prospect by Iris</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.44
<i>Figure 33 : Diverses méthodes d'évaluation de la perception des distances</i> Peer, Alex et Ponto, Kevin. 2017. Evaluating perceived distance measures in room-scale spaces using consumer-grade head mounted displays. <i>Proceedings - 2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces</i> . Janvier 2017, p.83.	P.45
<i>Figure 34 : Espace dédié à la visite en environnement virtuel</i> Image prise personnellement	P.54
<i>Figure 35 : Descriptif de l'événement Facebook partagé sur le groupe « Archi ULiège – B1 – 2020-2021 »</i> Capture d'écran dans Facebook	P.54
<i>Figure 36 : Visites de l'habitation en environnement virtuel par des étudiants de bac 1 de la Faculté d'Architecture de l'ULiège 2020-2021</i> Image prise personnellement	P.55
<i>Figure 37 : Graphique de l'évaluation des mesures par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.58
<i>Figure 38 : Graphique de l'évaluation des longueurs par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.59
<i>Figure 39 : Graphique de l'évaluation des hauteurs par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.59
<i>Figure 40 : Graphique de l'évaluation des largeurs par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.60
<i>Figure 41 : Graphique de l'évaluation des superficies par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.60
<i>Figure 42 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 1 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.61

<i>Figure 43 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 2 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.61
<i>Figure 44 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 3 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.61
<i>Figure 45 : Image d'une des chambres enfant de la maquette 1 en RV</i> Capture d'écran dans Prospect by Iris	P.61
<i>Figure 46 : Graphique de l'évaluation de l'habitabilité par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.62
<i>Figure 47 : Graphique de l'évaluation de l'habitabilité sur base égocentrique par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.63
<i>Figure 48 : Graphique de l'évaluation de l'habitabilité sur base exocentrique par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.63
<i>Figure 49 : Graphique du cumul des résultats des étudiants concernant l'habitabilité par maquette</i> Réalisation personnelle	P.64
<i>Figure 50 : Graphique de l'évaluation du sentiment de présence par les étudiants par maquette</i> Réalisation personnelle	P.66
<i>Figure 51 : Graphique de l'évaluation du sentiment de présence général par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette</i> Réalisation personnelle	P.67
<i>Figure 52 : Graphique de l'évaluation du sentiment de présence spatiale par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette</i> Réalisation personnelle	P.68
<i>Figure 53 : Graphique de l'évaluation du sentiment d'implication par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette</i> Réalisation personnelle	P.69

<i>Figure 54 : Graphique de l'évaluation du sentiment de réalisme par ordre croissant des moyennes des étudiants et par maquette</i>	P.70
Réalisation personnelle	
<i>Figure 55 : Graphiques représentant le classement des maquettes par item</i>	P.71
Réalisation personnelle	
<i>Figure 56 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 1</i>	P.72
Réalisation personnelle	
<i>Figure 57 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 2</i>	P.72
Réalisation personnelle	
<i>Figure 58 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 3</i>	P.72
Réalisation personnelle	
<i>Figure 59 : Nuage des mots utilisés par les étudiants lors de l'entretien consécutif à la visite de la maquette 4</i>	P.73
Réalisation personnelle	

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire	P.99
Annexe 2 : Canevas de l'entretien	P.104
Annexe 3 : Tableau comparatif des casques VR	P.105
Annexe 4 : Tableau des résultats obtenus au questionnaire relatif aux dimensions	P.110
Annexe 5 : Tableau des résultats obtenus au questionnaire relatif au sentiment de présence	P.111

Annexe 1 : Questionnaire



Elodie SOUDANT
Promoteur : Pierre HALLOT

Type de maquette : 1 – 2 – 3 – 4

L'impact du degré de réalisme de la visite virtuelle d'une habitation sur l'expérience d'utilisateurs

Perception des dimensions et sentiment de présence

QUESTIONNAIRE

INTRODUCTION

Age :

Genre :

Avez-vous déjà utilisé la réalité virtuelle ? OUI – NON

Avez-vous déjà utilisé un visiocasque ? OUI – NON

Vous venez de visiter une maison en réalité virtuelle. Voici plusieurs affirmations relatives à l'expérience que vous venez d'avoir. Indiquez, s'il vous plait, dans quelle mesure chacune de ces propositions s'applique à votre expérience. Il ne s'agit pas ici d'évaluer la qualité de l'architecture qui intègre volontairement certaines particularités, mais bien les aspects : dimensions et sentiment d'immersion, de présence sur base de l'expérience que vous venez de vivre. Rappelez-vous que vous devez répondre à ces questions en vous référant seulement à l'expérience que vous venez juste d'avoir dans l'environnement, le monde virtuel. Merci de ne pas sauter de question. Ce questionnaire n'est pas nominatif.

D12. La surface de la mezzanine au 1^{er} étage permet d'installer un bureau.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

D13. La hauteur du garde corps de la mezzanine est de :

0,70m 0,90m 1,10m

D14. La longueur du hall de nuit mesure :

6,20m 8,80m 11,40m

D15. Chacune des chambres enfants peut contenir un lit 2 personnes de 1,60m et une garde robe 2 portes.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

D16. La superficie de chacune des chambres enfants est de :

10m² 13m² 16m²

D17. La superficie de la salle de bain est de :

5,60m² 8m² 10,40m²

D18. La salle de bain peut contenir un lavabo, une baignoire et une douche.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

D19. La largeur du dressing dans la chambre des parents permet à deux personnes de se croiser facilement.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

D20. La hauteur sous plafond dans la chambre parentale est de :

2,60m 3m 3,40m

SENTIMENT DE PRESENCE

P1. Dans le monde généré par l'ordinateur, j'ai eu le sentiment d' « y être ».

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P2. Pendant l'expérience, il y a eu des moments où l'environnement virtuel était la réalité pour moi.

1 2 3 4 5
A aucun moment Tout le temps

P3. L'environnement virtuel m'a semblé être...

1 2 3 4 5
Des images que je voyais Un endroit que j'ai visité

P4. Pendant l'expérience, mon sentiment le plus fort était...

1 2 3 4 5
D'être dans l'environnement réel D'être dans l'environnement virtuel

P5. Je considère l'environnement virtuel au même titre que d'autres endroits que j'ai déjà visités.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P6. Pendant l'expérience, j'ai souvent pensé que j'étais réellement dans le monde virtuel.

1 2 3 4 5
Pas souvent Très souvent

P7. D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que le monde virtuel m'entourait.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P8. Je me suis senti présent dans l'espace virtuel.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P9. J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir avec des manettes.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P10. J'étais conscient du monde réel environnant alors que j'étais en train de visiter la maison dans le monde virtuel.

1 2 3 4 5
Extrêmement conscient Pas du tout conscient

P11. Je n'étais pas conscient de mon environnement réel.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P12. Je ne faisais pas attention à l'environnement réel.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P13. J'étais complètement captivé par le monde virtuel.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P14. Le monde virtuel m'a semblé ...

1 2 3 4 5
Pas du tout réel Complètement réel

P15. Ma visite de la maison en environnement virtuel m'a semblé cohérente par rapport à la visite d'une maison dans le monde réel.

1 2 3 4 5
Pas cohérente Très cohérente

P16. Le monde virtuel semblait plus réaliste que le monde réel.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P17. J'étais conscient du monde réel environnant alors que j'étais en train de visiter virtuellement la maison.

1 2 3 4 5
Extrêmement conscient Pas du tout conscient

P18. Les déplacements à l'intérieur de l'environnement virtuel me semblaient réalistes.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P19. J'étais capable d'anticiper les conséquences des mouvements que je faisais.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

P20. Je me suis senti désorienté lorsque j'ai enlevé le casque à la fin de l'expérience.

1 2 3 4 5
Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

Annexe 3 : Tableau comparatif des casques VR

		Oculus Quest 2	Oculus Rift S	Oculus Quest	HTC Vive
Marque		Facebook	Facebook	Facebook	HTC et Steam
Fonctionnement		Autonome Filaire (Oculus Link ou cable USB-C)	Filaire	Autonome	Filaire
Processeur		Qualcomm Snapdragon XR2	/	Qualcomm Snapdragon 835	/
RAM		6 Go	/	4 Go	/
Stockage		64Go ou 256Go	/	64Go ou 128Go	/
Autonomie		2 à 3h 2h de charge	/	2 à 3h 2h de charge	/
Ecran	Ecran	LCD	LCD	OLED	Dual AMOLED
	Résolution (pixels/oeil)	1832x1920	1280x1440	1600x1400	1080x1200
	FoV (Field of View) Champ de vision	110°	110°	110°	110°
	Taux de rafraichissement	72Hz/90Hz	80Hz	72Hz	90Hz
Tracking	Capteurs	Inside-out	Inside-out (5 caméras)	Inside-out	Externes
	DoF (Degrees of Freedom) Degrés de liberté	6DoF	6DoF	6DoF	6DoF
Microphone		Inclus	Inclus	Inclus	Inclus
Audio		Prise jack	Prise jack	Prise jack	Prise jack
Poids		500g	563g	571g	600g
Compatibilité	Sketchup VR	OK	OK	OK	OK
	Iris VR	OK	OK	OK	OK
	Unity	OK	OK	OK	OK
	Contenu	Oculus Store Steam	Oculus Store Steam	Oculus Store Steam	Steam Viveport
	Smartphone	Android iOS	/	Android iOS	/
Connexion		Wi-Fi, Bluetooth (necessite un smartphone)	Cable	Wi-Fi, Bluetooth (necessite un smartphone)	Cable
Prix		64Go : 349€ 256Go : 449€ Cable Oculus Link : 89€	449 €	64Go : 340€ 128Go : 550€	599 €
Remarques			Défaut de lentilles dans le Rift de base	Remplacé par le Quest 2?	Plus dispo??
Sortie		Octobre 2020	Mai 2019	Mai 2019	Avril 2016

		Valve Index	HTC Vive Cosmos	HTC Vive Cosmos Elite	HTC Vive Pro
Marque		Steam	HTC	HTC	HTC
Fonctionnement		Filaire	Filaire	Filaire	Filaire
Processeur		/	/	/	/
RAM		/	/	/	/
Stockage		/	/	/	/
Autonomie		/	/	/	/
Ecran	Ecran	LCD	LCD	LCD	OLED
	Résolution (pixels/oeil)	1440x1600	1440x1700	1440x1700	1440x1600
	FoV (Field of View) Champ de vision	130°	110°	110°	110°
	Taux de rafraichissement	80/90/120/144 Hz en fct de l'ordi	90Hz	90Hz	90Hz
Tracking	Capteurs	Externes	Inside-out	Externe	Externe
	DoF (Degrees of Freedom) Degrés de liberté	6DoF	6DoF	6DoF	6DoF
Microphone		Inclus	Inclus	inclus	Inclus
Audio		Ecouteurs externes	Ecouteurs stéréo	Ecouteurs stéréo	Casque amovible
Poids		800g	651g	645g	1 038g
Compatibilité	Sketchup VR	OK			OK
	Iris VR	OK			OK
	Unity				
	Contenu	Steam	Steam	Steam	Steam Viveport
	Smartphone	/	/	/	/
Connexion		Cable de 5m	Cable	Cable	Cable Bluetooth
Prix		1 079€	799 €	999 €	1 399€
Remarques		Controleurs autour de la main	Tracking desastreux dans les pieces un peu sombre		
Sortie		Juin 2019	Octobre 2019	Mars 2020	Avril 2018

		Lynx	Playstation VR	Lenovo Mirage Solo	Dell Visor
Marque		Lynx	Sony	Lenovo	Dell
Fonctionnement		Autonome	Filaire	Autonome	Filaire
Processeur		Snapdragon XR2	/	Qualcomm Snapdragon 835	/
RAM		6Go	/	4Go	/
Stockage		128Go Espace micro SD	/	64Go Espace micro SD	/
Autonomie		2 à 3h	/	2 à 3h	/
Ecran	Ecran	LCD	OLED	LCD	LCD
	Résolution (pixels/oeil)	1600x1600	960x1080	1280x1440	1440x1440
	FoV (Field of View) Champ de vision	90°	100°	110°	105°
	Taux de rafraîchissement	90Hz	90Hz	75HzF	90Hz
Tracking	Capteurs	Inside-out (6 caméras)	Externes	Inside-out	Inside-out
	DoF (Degrees of Freedom) Degrés de liberté	6DoF		6DoF	6DoF
Microphone		Inclus	Inclus	Inclus	Inclus
Audio		Haut-parleurs stéréo Prise Jack	Ecouteurs Prise jack	Prise jack	Prise jack
Poids		500g	600g	645g	590g
Compatibilité	Sketchup VR				
	Iris VR				OK
	Unity				
	Contenu	Professionnel	PlayStation Store	Google Daydream	StreamVR Windows Mixed Reality
	Smartphone	/	/	Android iOS	/
Connexion		Wi-Fi Bluetooth USB-C Mode 5G	Cable 3m (HDMI et USB)	Wi-Fi	Cable de 4m
Prix		1 499€	159,90 €	399,00 €	510,00 €
Remarques		RV et RA Eye-tracking 5G	Uniquement Playstation Tracking et contrôleurs nuls		
Sortie		2è quadri 2020	Octobre 2016	Mai 2018	Octobre 2017

		ASUS HC102	Acer Windows Mixed Reality AH101	HP VR1000	Lenovo Explorer
Marque		Asus	Acer et Redmond	HP	Lenovo
Fonctionnement		Filaire	Filaire (cable de 4m)	Filaire (cable de 4m)	Filaire (cable de 4m)
Processeur		/	/	/	/
RAM		/	/	/	/
Stockage		/	/	/	/
Autonomie		/	/	/	/
Ecran	Ecran	1 seul écran LCD	LCD	LCD	LCD
	Résolution (pixels/oeil)	2880x1440	1440x1440	2880x1440	2880x1440
	FoV (Field of View) Champ de vision	105°	105°	105°	105°
	Taux de rafraichissement	90Hz	60-90Hz	90Hz	90Hz
Tracking	Capteurs	Inside-out	Inside-out	Inside-out	Inside-out
	DoF (Degrees of Freedom) Degrés de liberté	6DoF	6DoF	6DoF	6DoF
Microphone		Inclus	Inclus	Inclus	Inclus
Audio		Prise jack	Prise jack	Prise jack	Prise jack
Poids		400g	440g	538g	538g
Compatibilité	Sketchup VR		OK		
	Iris VR		OK		OK
	Unity				
	Contenu	StreamVR Windows Mixed Reality	StreamVR Windows Mixed Reality	StreamVR Windows Mixed Reality	StreamVR Windows Mixed Reality
	Smartphone	/	/	/	/
Connexion		Cable de 4m	Cable	Cable	Cable
Prix		574 €	399,99\$	349 €	349 €
Remarques		RV et RA	RV et RA	RV et RA	
Sortie		Octobre 2017	Octobre 2017	Octobre 2017	Octobre 2017

		Pico Neo CV	Oculus Go	HTC Vive Focus
Marque		Pico	Facebook	HTC
Fonctionnement		Autonome Filaire pou kit de tracking	Autonome	Autonome
Processeur		Snapdragon 820 avec 4Go de RAM	Qualcomm Snapdragon 821	Snapdragon 835
RAM				
Stockage		MicroSD jusqu'à 128Go	32GB ou 64GB	MicroSD jusqu'à 2To
Autonomie		2h30	2h en jeux vidéo 2h30 en video 360°	3h
Ecran	Ecran	AMOLED	LCD	AMOLED
	Résolution (pixels/oeil)	1500x1500	1440	2880x1600
	FoV (Field of View) Champ de vision	102°	110°	110°
	Taux de rafraichissement	90Hz	60Hz	75Hz
Tracking	Capteurs		/	Inside-out
	DoF (Degrees of Freedom) Degrés de liberté	6DoF	3DoF	6DoF
Microphone		Inclus	Inclus	Inclus
Audio		Prise jack	Prise jack	Prise jack
Poids			468g	702g
Compatibilité	Sketchup VR			OK
	Iris VR			
	Unity		OK	
	Contenu	Google Play	Oculus Home	Viveport
	Smartphone	/		
Connexion		Cable		
Prix		249,37 €	32GB : 219€ 64GB : 269€	649 €
Remarques		manettes filaires		Cable USB-C
Sortie		Janvier 2017	Mai 2018	Avril 2019

Annexe 4 : Tableau des résultats obtenus au questionnaire relatif aux dimensions

		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20
Maquette 1	Q1	2	5	2	5	5	2	2	3	1	2	3	3	3	1	2	1	1	3	1	2
	Q2	2	4	1	2	3	3	2	1	2	1	1	5	2	1	3	1	2	1	3	1
	Q3	3	4	2	5	5	3	2	3	2	3	3	5	3	2	3	1	3	4	3	1
	Q4	3	3	1	5	4	3	3	2	2	4	2	5	3	2	3	2	2	5	5	2
	Q5	2	4	1	5	3	3	3	2	2	2	2	5	3	1	3	1	1	2	3	2
	Q6	2	2	3	5	4	1	2	5	3	4	3	5	2	2	4	2	3	4	5	2
	Q7	2	2	1	2	4	3	2	3	2	2	3	4	3	2	2	1	3	2	4	1
	Q8	1	4	3	4	3	3	2	1	1	2	3	2	2	2	2	1	3	5	3	1
	Q9	2	4	3	4	4	3	1	4	2	3	2	3	2	1	3	3	3	4	3	2
	Q10	1	4	1	5	5	3	1	3	1	3	3	4	3	2	5	3	2	3	5	2
Maquette 2	Q11	3	3	1	1	3	3	3	2	1	2	2	4	3	2	2	2	3	3	4	1
	Q12	3	3	1	4	4	3	2	2	2	1	2	2	3	2	2	2	3	3	4	1
	Q13	2	5	1	5	3	2	1	2	3	2	1	3	3	2	4	2	2	4	3	1
	Q14	1	5	1	5	4	2	2	2	1	3	3	5	2	2	4	2	2	4	2	2
	Q15	2	4	1	4	4	3	2	1	1	3	3	5	3	1	2	2	3	5	3	1
	Q16	1	5	2	5	4	3	2	3	1	1	3	3	2	2	3	1	1	4	2	2
	Q17	2	5	2	2	5	3	1	4	3	1	1	2	2	2	4	2	3	3	5	1
	Q18	2	4	1	3	2	3	3	2	1	3	2	5	1	2	3	1	2	5	2	2
	Q19	1	3	1	5	5	2	2	1	3	3	3	5	3	1	2	2	2	5	5	1
	Q20	2	4	1	5	5	2	2	2	3	3	2	5	2	2	4	2	2	5	4	2
Maquette 3	Q21	2	4	2	5	3	3	2	2	1	3	2	5	3	2	2	2	3	4	4	3
	Q22	2	2	3	5	5	3	1	4	4	5	3	5	2	3	5	3	2	4	5	3
	Q23	1	3	1	2	2	2	2	1	1	5	3	5	2	1	3	2	2	5	3	1
	Q24	1	3	1	5	4	3	2	3	2	4	2	4	3	2	5	1	2	4	3	1
	Q25	1	2	3	5	4	3	3	3	1	2	1	4	3	1	2	1	3	4	4	1
	Q26	2	3	1	5	5	3	2	2	2	2	2	5	3	2	1	1	3	3	4	1
	Q27	2	4	1	4	3	3	2	3	1	2	2	5	2	3	3	1	1	3	3	1
	Q28	2	5	1	5	5	3	2	3	1	1	2	5	3	2	1	1	2	1	1	1
	Q29	1	3	2	5	5	1	2	2	3	1	2	3	3	1	3	1	3	4	3	1
	Q30	2	3	3	5	4	2	3	2	2	3	1	4	3	1	2	2	2	4	3	2
Maquette 4	Q31	2	4	1	4	4	2	1	3	2	2	2	4	3	2	2	2	2	4	3	1
	Q32	1	4	1	5	5	2	2	2	1	4	3	5	2	1	5	2	2	4	5	2
	Q33	2	4	2	4	4	3	1	3	2	3	3	4	3	1	3	2	3	4	3	1
	Q34	1	5	2	5	2	3	2	3	1	2	1	5	2	2	3	1	2	5	2	1
	Q35	2	4	2	5	4	3	2	4	2	1	1	5	2	2	3	2	1	2	1	2
	Q36	2	3	2	4	3	3	2	3	2	2	2	5	2	1	4	2	3	4	3	1
	Q37	2	4	1	3	3	3	2	2	2	3	3	4	3	1	2	1	2	3	4	1
	Q38	1	5	1	5	5	2	2	3	1	4	2	5	2	2	5	2	2	5	4	1
	Q39	2	5	2	4	5	3	2	3	2	3	2	5	2	2	3	2	2	4	3	2
	Q40	2	5	1	3	4	3	2	3	1	1	3	5	3	2	3	2	2	5	5	2

Annexe 5 : Tableau des résultats obtenus au questionnaire relatif au sentiment de présence

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	
Maquette 1	Q1	2	1	2	5	2	1	3	2	1	5	5	5	2	3	3	1	4	1	5	1	
	Q2	5	5	5	4	1	5	5	5	4	2	2	2	4	4	4	4	1	3	5	1	
	Q3	5	4	4	4	2	4	4	4	3	3	3	2	4	4	4	3	2	5	5	3	
	Q4	5	5	4	5	5	2	4	5	4	4	4	5	5	4	4	2	4	3	5	5	
	Q5	5	3	5	3	2	4	5	5	2	4	4	4	4	5	3	4	2	4	4	4	5
	Q6	4	4	4	4	3	4	4	5	5	4	4	5	5	4	4	3	4	5	5	2	
	Q7	5	3	3	3	2	3	4	4	1	2	2	2	5	4	4	1	3	3	4	5	
	Q8	5	5	5	2	3	3	4	5	4	2	4	3	4	3	4	3	2	4	5	4	
	Q9	4	4	5	3	2	4	2	3	4	4	5	4	4	4	4	2	4	4	3	3	
	Q10	5	3	3	5	3	2	5	2	2	5	4	4	4	3	3	1	4	3	2	5	
Maquette 2	Q11	5	4	4	4	4	4	5	4	3	3	3	3	4	4	3	2	3	3	3	2	
	Q12	4	4	5	3	5	3	5	5	3	2	2	5	4	2	4	1	2	3	5	1	
	Q13	5	5	3	5	4	5	5	5	2	5	5	5	5	3	4	2	5	4	2	5	
	Q14	4	4	4	4	4	3	4	5	5	3	2	2	3	3	4	3	4	4	4	5	
	Q15	5	4	4	3	3	5	3	5	2	5	4	5	5	4	4	3	5	3	1	2	
	Q16	3	5	5	5	1	4	4	5	3	5	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	
	Q17	5	5	4	5	2	4	5	5	2	5	5	5	5	4	5	1	2	3	5	5	
	Q18	4	4	5	3	3	2	4	4	2	2	2	3	3	3	3	2	3	4	3	4	
	Q19	5	4	4	5	3	5	5	5	2	4	3	4	4	4	3	3	4	3	2	3	
	Q20	5	4	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	5	3	3	3	3	4	
Maquette 3	Q21	5	4	5	5	5	3	5	5	4	4	2	3	5	4	5	2	3	4	5	4	
	Q22	5	4	5	3	5	4	5	5	4	5	4	5	5	4	5	2	3	5	3	5	
	Q23	5	5	5	4	5	3	3	5	4	3	1	1	5	5	3	1	2	4	2	3	
	Q24	3	2	3	3	2	4	4	4	4	2	2	3	2	3	3	1	2	4	5	1	
	Q25	5	4	5	4	3	5	5	3	3	5	4	4	4	4	5	3	5	3	4	1	
	Q26	5	4	5	3	4	4	5	4	3	4	4	4	4	4	4	1	3	3	2	5	
	Q27	5	4	5	2	4	2	1	3	3	5	2	4	4	5	5	3	3	4	4	3	
	Q28	5	5	5	3	2	5	5	5	1	5	5	5	5	5	4	1	5	5	1	5	
	Q29	5	4	4	4	4	4	5	5	3	1	2	1	4	4	5	2	2	4	3	2	
	Q30	3	4	3	4	2	2	4	4	3	2	3	3	4	3	5	2	2	2	4	4	
Maquette 4	Q31	4	2	3	5	3	5	4	4	2	5	4	2	3	2	3	2	3	2	2	1	
	Q32	5	3	4	4	5	2	4	4	2	1	2	2	3	4	4	1	3	5	2	5	
	Q33	5	5	4	5	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4	
	Q34	4	2	3	2	3	3	5	5	2	4	2	2	5	4	5	2	2	4	3	1	
	Q35	5	3	3	3	4	2	5	5	3	4	5	3	5	4	5	3	5	5	4	4	
	Q36	5	4	4	2	4	3	2	4	5	5	5	4	4	4	4	5	3	4	5	3	
	Q37	4	4	4	2	3	4	5	4	3	5	4	4	4	4	4	4	4	3	4	2	
	Q38	5	5	5	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	2	5	5	4	5
	Q39	5	3	4	3	2	4	4	4	3	4	4	5	5	4	4	2	4	4	4	3	
	Q40	3	1	3	3	3	2	2	3	3	4	2	3	3	3	1	1	2	2	3	2	

