

**Faculté des sciences économiques,
sociales, politiques et de communication**

Conception et évaluation d'expériences immersives avec des prototypes en réalités virtuelles

Une comparaison des solutions de prototypage en réalité virtuel et en storyboard

Auteur : Maxime Kamgue Kamgue

Promoteurs : Suzanne Kieffer

Année académique 2023-2024

Master 120 en Sciences et Technologies de l'Information et de la communication, à finalité spécialisée en conception et évaluation de médias éducatifs

Remerciements

Ce mémoire est le fruit d'une longue période de travail, d'échanges, de collaboration et de recherches, et dont le résultat a été atteint grâce à la participation de plusieurs personnes. Je tiens ainsi à exprimer ma profonde gratitude envers toutes ces personnes qui m'ont soutenu tout au long de la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements à la professeure Suzanne Kieffer, responsable du master STIC à l'UCLouvain, et également ma promotrice, pour sa disponibilité, l'attention dont elle nous a procuré, son encadrement de qualité, ainsi que ses nombreux encouragements et motivations qui nous ont permis de mener ce travail à bon escient.

J'exprime ma reconnaissance et ma gratitude avec :

Tout le corps enseignant et administratif de l'UCLouvain et en particulier du Master STIC et de la faculté ESPO, pour la qualité de formation que vous nous avez procurée, ainsi que pour votre disponibilité.

M. Sébastien Nahon, le directeur du MIIL, pour m'avoir permis d'utiliser les équipements du MIIL dans le cadre de ma recherche, ainsi que toute l'équipe du MIIL (Salvator, Quentin, etc.) pour l'accompagnement dans l'utilisation de ces outils (casque VR, manette, etc.)

Mes camarades de promotion, pour le soutien et la collaboration, mes amis, ainsi que tous ceux qui ont accepté de participer à l'étude.

Je tiens à remercier mes parents, mes frères et mes sœurs, ainsi que toute ma famille pour leurs soutiens inconditionnels, pour l'encouragement et la patience dont ils ont fait preuve durant tout mon parcours académique. Leurs amours et leurs soutiens m'ont donné de la force et du courage dans les moments difficiles.

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	État de l'art	3
2.1	Concept de perception et d'immersion en VR :	3
2.2	Concept de présence en VR :	4
2.3	Concept de réalisme en VR :	5
2.4	Le prototypage traditionnel :	6
2.5	Le prototypage en VR :	7
2.6	Expérience Utilisateur (UX).....	8
3.	Description des prototypes VR et Storyboard.....	11
3.1	Description du prototype VR	11
3.2	Livrable 1 : Prototype Storyboard.....	12
4.	Livrable 2 : Méthodologie.....	13
4.1	Objectif.....	13
4.2	Scénarios de test	13
4.3	Recrutement des participants	13
4.3.1	Caractéristiques de l'échantillon de la population	13
4.3.2	Stratégie de recrutement des participant·es.....	14
4.3.3	Consentement éclairé et risques associés à la VR.....	14
4.4	Méthodes de collecte des données	14
4.4.1	Observation	15
4.4.2	UEQ+	15
4.4.3	IGroupe présence questionnaire (IPQ).....	16
4.4.4	Entretien semi-structuré (Debriefing)	17
4.5	Déroulement des tests.....	17
5.	Livrable 3 : Résultats et interprétation des tests en VR et en storyboard (ST)	19
5.1	Expérience utilisateur UEQ+	19
5.1.1	Échelles UX.....	19
5.1.2	Importance relative des échelles	22
5.2	Expérience utilisateur IPQ	24
5.3	Observations VR	29
5.4	Débriefing.....	30
5.5	Croisement des données	31
6.	Livrable 4 : Recommandations en termes de prototypage	33
7.	Conclusion.....	34
7.1	Synthèse	34
7.2	Limites de la recherche	34

7.3	Discussions et perspectives	35
8.	Bibliographie.....	36
9.	Annexe 1 : première collecte de données pour valider le dispositif.....	38
9.1	Mise en œuvre de la méthodologie :	38
9.1.1	Passation :.....	38
9.1.2	Recrutement des participants :	39
9.2	Tests utilisateurs : Résultats et interprétation	39
9.2.1	First impression	39
9.2.2	Observation :	40
9.2.3	Résultats UEQ+.....	41
9.2.4	Résultats sur l'engagement utilisateur (UES short form) :.....	42
9.3	Amélioration du dispositif :.....	42
10.	Annexe 2 : Gestion des figures et des tableaux.....	43
10.1	Liste des figures	43
10.2	Liste des tableaux	44
11.	Annexe 3 : Formulaire de consentement.....	45
12.	Annexe 4 : UEQ+.....	46
13.	Annexe 5 : IPQ.....	47
14.	Annexe 6 : Storyboard.....	48

1. Introduction

Le prototypage est une étape importante dans le processus de conception d'un produit ou service. Les formes de prototypages ont évolué au fil du temps. Avec l'avance des technologies, la réalité virtuelle (VR) occupe une place importante dans les formes de prototypage, car elle permet à l'utilisateur de vivre une expérience immersive aussi proche du réel. Si le but d'un prototype est d'offrir un premier aperçu du produit aux utilisateurs, alors il est primordial que le prototype réalisé ait une bonne expérience utilisateur (UX). L'expérience utilisateur dans une étape de conception permet de se rassurer que les besoins des utilisateurs cibles sont pris en compte et que le produit répond aux exigences de ces utilisateurs. La mesure de cette expérience utilisateur se fait grâce à des méthodologies bien définies.

Le choix de l'outil de prototypage qui permet de minimiser les coûts, offrir une bonne expérience aux utilisateurs, gagner en temps de conception, et qui offre une rapidité d'exécution/test est d'une difficulté énorme. C'est ainsi qu'il est important pour les concepteurs de bien prendre en compte les caractéristiques du produit à concevoir, le budget disponible et aussi prendre en compte les utilisateurs dans le choix de l'outil de conception.

À cet effet, pour au mieux aider les concepteurs dans ce choix, nous proposons une étude qui permet d'évaluer l'expérience utilisateur d'un prototype VR d'une part, et d'autre part de concevoir un prototype en storyboard et de faire une comparaison de son expérience utilisateur à celle du prototype VR.

L'objectif de cette recherche est de voir le prototype qui offre le plus d'expérience en termes d'immersion, de facilité d'utilisation, de conception, etc., afin d'en produire des recommandations des caractéristiques à prendre en compte pour le choix de l'outil de prototypage.

Ce Mémoire-Projet adopte une méthodologie mixte (quantitative et qualitative) afin de renforcer la validité des résultats, et ainsi atteindre les objectifs de la recherche. Nous utilisons l'UEQ+ pour évaluer les aspects pragmatiques et hédoniques du système, l'IPQ pour mesurer la présence et aussi l'immersion et le réalisme. Nous menons une observation et aussi un débriefing, et nous faisons un croisement des données quantitatives et qualitatives afin de nous assurer de la conformité des données.

Pour mieux cerner les contours de notre travail, nous l'articulons autour de 6 axes qui sont : l'état de l'art, la description des prototypes utilisés, la présentation de la méthodologie, la

présentation des résultats, et enfin des recommandations et discussions sur les limites et les perspectives d'améliorations.

À l'issue de ce travail, les livrables attendus sont :

- ❖ Livrable 1 : Prototype Storyboard
- ❖ Livrable 2 : Méthodologie
- ❖ Livrable 3 : Résultats et interprétation des tests en VR et en storyboard (ST)
- ❖ Livrable 4 : Recommandations en termes de prototypage

Contribution de la recherche

Cette recherche permet de montrer comment l'expérience utilisateur peut varier d'un outil de prototypage à un autre pour un même cas d'utilisation, de fournir une base de recommandations permettant de comprendre les critères de choix d'un outil, et enfin elle apporte une contribution méthodique quant à l'évaluation de l'UX d'un prototype, car dans cette recherche nous proposons une méthodologie complètement reproductible.

2. État de l'art

La réalité virtuelle (VR) est une technologie en plein essor. On la retrouve dans plusieurs domaines, notamment la médecine, l'architecture et l'urbanisme, l'éducation et l'industrie. Dans la médecine, la VR peut être utilisée pour l'assistance dans la thérapie, les opérations chirurgicales ou la formation du personnel médical. Dans le livre intitulé, *la thérapie par la VR*, Levy et al. (2017), démontrent comment l'exposition de la VR peut être bénéfique pour la thérapie. Ils évoquent notamment la confidentialité des consultations, la réduction des coûts de déplacement et le gain de temps. Elle peut servir dans l'éducation à favoriser l'enseignement à distance, la création de salons virtuels pour les rencontres et discussions entre les étudiant·es et enseignant·es, et le suivi des activités à distance. Ainsi, l'usage de la VR augmente la capacité cognitive des apprenant·es et peut permettre aux enseignant·es de travailler les compétences techniques de chaque apprenant·e (Mignot et al, 2019). La VR peut être utilisée dans le domaine industriel pour tester virtuellement un produit avant sa conception finale ou pour évaluer la faisabilité d'un produit ou service.

La définition de l'expression réalité virtuelle est longtemps restée ambiguë, car la VR repose sur des compétences issues de domaines variés. Selon Fuchs & Arnaldi (2006), la définition de la VR ne peut pas reposer uniquement sur l'utilisation d'un dispositif technique pour interagir dans un environnement. De ce fait, une VR doit impliquer les concepts d'immersion, d'interactivité et de cognition. C'est ainsi que Burdea et Coiffet (2003) proposent une définition reposant sur ces concepts et centrée sur l'utilisateur. Ils affirment ainsi que : « *Virtual reality is a high-end user-computer interface that involves real-time simulation and interactions through multiple sensorial channels. These sensorial modalities are visual, auditory, tactile, smell, and taste* » (Burdea & Coiffet, 2003, p.03). Suite à cette définition, ils rejoignent ainsi Fuchs et Arnaldi (2006) dans la finalité de la VR : « La finalité de la VR est de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité sensorielle motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel ». Cependant, Burkhardt (2003), met en exergue trois caractéristiques fondamentales d'un environnement virtuel que sont : l'immersion, la présence et le réalisme.

2.1 Concept de perception et d'immersion en VR :

Selon Slater et Sanchez-Vives (2016), la perception d'un environnement virtuel est relative au modèle du monde réel de l'utilisateur. Si nous restons dans cette logique, cela revient à dire que chaque utilisateur a un modèle mental qui définit la représentation interne qu'il a établie du monde réel. Lorsqu'il est en environnement virtuel, c'est cette représentation mentale qui l'aide

à percevoir facilement les objets de ce monde virtuel. On peut alors dire que la perception est une activité sensorielle motrice qui permet à l'utilisateur de projeter ses connaissances du monde réel dans un environnement virtuel. Pour Auvray et Fuchs (2007), perception et immersion en environnement virtuel sont deux concepts qui sont définis l'un par rapport au sens que l'on donne à l'autre. En effet, pour les auteur·es, la définition de la perception est fondamentale dans celle de l'immersion. On peut dire que l'immersion est la capacité technique pour un système de VR à fournir une grande perception dans un environnement virtuel, tout en prenant en compte l'activité sensorielle motrice naturelle (Slater & Sanchez-Vives, 2016). Cela revient à dire que s'immerger en environnement virtuel c'est être capable d'utiliser tous ses sens de façon naturelle dans cet environnement pour mieux percevoir les objets de cet environnement. Bien que l'immersion soit souvent associée à la présence, Slater et Sanchez-Vives (2016) qualifient cette dernière comme un sentiment ou une illusion d'être dans l'environnement virtuel.

2.2 Concept de présence en VR :

Selon Berkman et Akan (2019), la présence virtuelle peut être considérée comme le sentiment d'être représenté physiquement dans un environnement virtuel, avec des visuels ou en recevant les retours sensoriels moteurs et vibrations générés par le système virtuel. Ainsi, pour que l'utilisateur ou l'utilisatrice se sente présent·e, le prototype doit avoir des propriétés haptiques qui sont celles résultant de la sensation au toucher des objets du système. Cependant, la présence peut être représentée de plusieurs façons dans un prototype virtuel (Berkman & Akan, 2019). On parle de :

- Présence spatiale pour désigner le fait de se retrouver au cours d'une expérience virtuelle dans un espace qui correspond au modèle mental de l'espace réel. Ainsi, les utilisateurs et utilisatrices ont l'illusion d'être réellement dans cet espace.
- Présence sociale pour définir le fait de se retrouver dans un environnement virtuel avec plusieurs autres personnes pouvant être géographiquement séparées. Ainsi cette présence est marquée par la capacité d'échange et de compréhension avec d'autres personnes, de voir les émotions et d'effectuer conjointement des interactions ;
- Le réalisme : le degré de réalisme que peut avoir un prototype virtuel défini également le sentiment de présence qu'ont les utilisateurs et utilisatrices au cours de l'expérience. La partie suivante nous donne une explication plus approfondie de ce concept de réalisme.

2.3 Concept de réalisme en VR :

Pour Fuchs et Arnaldi (2006), le réalisme dans un prototype virtuel dépend des objectifs du projet. Autrement dit, nous pouvons avoir plusieurs niveaux de réalisme dans un prototype en fonction de l'objectif souhaité. Dès lors, les objectifs pouvant varier d'un projet à un autre, un prototype peut sembler plus réaliste qu'un autre en fonction des différents objectifs définis. De plus, le réalisme peut être représenté dans un prototype en fonction des similitudes d'interfaces entre l'objet réel et l'objet virtuel. On parle ici du niveau de fidélité du prototype qui est un concept capital pour mieux expliquer le degré de réalisme.

En effet, le niveau de fidélité d'un prototype détermine à quel niveau le prototype virtuel reflète réellement l'objet réel. Kieffer et Vanderdonckt (2023, p.03) définissent le niveau de fidélité comme : « *The Level of Fidelity (LoF) of a GUI prototype corresponds to the precision with which it reproduces the realm of the desired GUI in the expected context of use* ». Ils distinguent ainsi trois niveaux de fidélités : Les prototypes hautes-fidélités, les prototypes de moyenne fidélité et les prototypes basses fidélités. Un prototype haute-fidélité signifie que l'objet représenté dans l'environnement virtuel est parfaitement similaire à l'objet réel, et donc ce prototype a un niveau de réalisme élevé. À l'opposé, un prototype basse-fidélité a un niveau de réalisme faible et donc ne reflète pas parfaitement l'objet réel.

Pour Freitas et al. (2020), une autre différence entre ces deux niveaux de fidélités se trouve lors de la conception du prototype. En effet, le prototypage basse-fidélité est facile à concevoir et fournir les informations de base sur un produit ou service tan-disque le prototypage haute-fidélité est plus difficile à concevoir, mais le résultat est plus réaliste.

Tableau 1 : Comparaison des caractéristiques des différents niveaux de fidélité (Vanderdonckt & Coyette, 2006, p.03)

Fidélité/Critère	Basse	Moyenne	Elevée
Phase de développement	Elicitation des besoins, conception préliminaire, conceptualisation, début de l'application	Conception continue, validation de l'ergonomie du prototype, application en cours de route	Conception détaillée, application en fin de spécification
Contenu	Présentation surtout	Présentation, contenu, layout, début de la navigation	Présentation et navigation, contenu, layout, fonctionnalités
Usage	Exploration, découverte, évocation, communication	Simulation, raffinement, itération, amélioration, validation de l'utilisabilité, test utilisateur	Propagation générale à l'application, spécification finale, documentation, marketing
Type de prototypage	Horizontal	Diagonal	Vertical
Type d'approche	Ascendante (bottom up)	Expansive (middle-out)	Descendante (top down)
Facilité de changement	Elevée	Modérée	Très faible
Coût	Faible	Modéré	Elevé
Temps requis	Faible	Modéré	Elevé
Naturalité de la représentation	Très élevée	Modérée	Faible
Niveau de détail	Faible	Modéré	Elevé
Fréquence d'itération	Très élevée	Elevée	Faible
Niveau d'interactivité	Faible	Modéré	Elevé
Représentation	Esquisse	Dessin, dessin vectoriel	Présentation et navigation réelles
Convient pour...	Des applications de grande taille	Des applications moyennes	Des applications de taille réduite ou des fragments d'autres types d'application
Niveau des spécifications	Abstrait	Mixte	Concret
Outils en général	Denim [14], FreeForms [24], GUILayout [5], Paper [27], JavaSketchIt [8], SILK [17], SketchREAD [1]	EtchaPad [22], ExcelProto [3], MidFi [12], ProtoMixer [23]	Editeurs d'interface fournis avec les environnements intégrés de développement
Outils UsiXML	SketchiXML [9,10,11]	VisiXML [30]	GrafiXML [19,20], FormiXML [30]
URL	http://www.usixml.org/index.php?view=page&idpage=29	http://www.usixml.org/index.php?view=page&idpage=11	http://www.usixml.org/index.php?view=page&idpage=10

2.4 Le prototypage traditionnel :

Le prototypage est une étape nécessaire dans la conception ou le développement d'un système, service ou produit. Faire le prototype d'un produit revient à représenter un modèle du produit que l'on souhaite développer à long terme afin d'en évaluer les éventuelles problématiques qui peuvent surgir lors du développement du produit. On distingue plusieurs méthodes de prototypages allant du prototypage vertical au prototypage horizontal et variant en fonction du niveau de fidélité comme nous l'avons présenté ci-dessus.

Le prototypage papier ou vertical consiste à représenter un prototype en profondeur. Autrement dit, avec cette méthode de prototypage, on peut représenter en détail le fonctionnement d'un objet sans tenir compte de tous les aspects de cet objet. Il est généralement représenté à l'aide d'un crayon et du papier. Par contraste, le prototypage codé ou horizontal consiste à représenter un prototype en largeur sur un écran. Il permet alors de représenter toutes les fonctionnalités du prototype. On utilise généralement des logiciels pour représenter ces types de prototypes.

Selon Baccino (2009), ces types de prototypes peuvent être classifiés en fonction de leurs pérennités. On a à cet effet des prototypages dits jetables, des prototypages itératifs et des prototypages incrémentaux. La différence entre ces types de pérennité se situe au niveau de la durée de vie des prototypes. En effet, pour un prototypage jetable, le prototype sert uniquement

à tester une fonctionnalité de l'application, puis n'est plus utilisé pour la suite du développement de l'application. Le prototypage itératif quant à lui consiste à concevoir plusieurs modèles de l'application finale qui constitueront les fondements de cette application. Enfin, le prototypage incrémental est utilisé pour tester les fonctionnalités d'une application au fur et à mesure du développement.

Le prototypage peut aussi être réel, ce qui consiste à représenter physiquement un modèle du produit que l'on souhaite concevoir ou virtuel, qui consiste à faire une représentation abstraite du produit que l'on souhaite développer physiquement. Comme l'a démontré Chamaret (Chamaret, s. d.), le prototypage virtuel est bénéfique, car les coûts sont faibles, la réalisation est rapide et il peut être adapté autant que besoin contrairement au prototypage réel.

Enfin, le storyboard est une méthode de prototypage traditionnelle, qui consiste à présenter un prototype sous forme de narration. Très populaire dans l'industrie de l'audiovisuel, cette méthode est utilisée dans le cadre des prototypages rapides afin de présenter la séquence des idées nécessaires à la réalisation d'une tâche ou d'une action. Ce type de prototype peut être réalisé manuellement sur papier, ou numériquement. Dans notre travail, nous réaliserons un storyboard numérique et comparerons son expérience utilisateur à celui d'un prototype réalisé en réalité virtuelle.

2.5 Le prototypage en VR :

État de l'art des solutions de prototypages rapides en VR :

Pour la conception d'expériences immersives, plusieurs solutions de prototypage rapide existent. Bien que toutes ces solutions soient utilisables pour une expérience, le choix d'une solution ou technologie par rapport à une autre ne se fait pas de façon aléatoire.

Selon Meccawy (2022), le choix d'une technologie dépend des besoins de l'utilisateur, du temps de conception, de la disponibilité des ressources, du degré d'immersion souhaité et de l'expertise technique de l'utilisateur. De ce fait, chaque outil ou solution de prototypage rapide en VR offre des avantages et des inconvénients. La conception d'une même expérience sur différentes plateformes ne requiert pas nécessairement les mêmes ressources et les mêmes compétences.

Le Tableau 2, repris dans l'article de Meccawy (2022), présente les différentes technologies de conception d'expériences en VR en fonction des environnements de programmation, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Tableau 2 : Tableau comparatif des plateformes de conception d'expériences immersives (Meccawy, 2022)

XR Content Development Approach	Example	Pros	Cons
Programming Platforms	Unity	<ul style="list-style-type: none"> • Allows more control and flexibility over the system • System design meets requirement and learning goals • Cost-effective 	<ul style="list-style-type: none"> • Time Consuming • Steep Learning Curve • Requires advanced IT, programming and designing skills • Maintenance • Limited/No interoperability
Development Tools and Platforms (Minimal Coding)	InstaVR	<ul style="list-style-type: none"> • Shorter development cycle • Some control and flexibility • Design meets requirement • Mostly drag-and-drop 	<ul style="list-style-type: none"> • Requires good design skills • Limited functionality and options • Maintenance
Subscription to Educational Platforms	Virbela	<ul style="list-style-type: none"> • No technical expertise required • Designed for learning purposes • No/minimal configuration required • Maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • Financial Cost • Less flexibility than developing your own solution
Subscription to Non-Educational Platforms	Engage	<ul style="list-style-type: none"> • No technical expertise required • No or minimal configuration • Maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • Financial Cost • Less flexibility than developing your own solution • Not purposely created for education
Complete XR Solution	ClassVR and Avanti's World	<ul style="list-style-type: none"> • No technical expertise required • No or minimal configuration • Maintenance • Fully immersed and integrated • Preloaded learning content 	<ul style="list-style-type: none"> • High cost • Predefined number of users according to number of headsets (scalability)
XR Learning Apps and Educational Content	Catchy Words, NASA	<ul style="list-style-type: none"> • No technical expertise required • No configuration required • Minimal or no cost • Automatic fixes and updates 	<ul style="list-style-type: none"> • Limited functionality and alignment with learning objectives

Dans la suite de notre travail, le prototype VR que nous allons analyser a été développé en utilisant la plateforme de programmation Unreal. Cette plateforme se distingue des autres grâce à la flexibilité qu'elle offre, et les fonctionnalités avancées dont elle dispose. Ainsi, cette solution est la plus complète à ce jour pour le développement des prototypes en haute-fidélité. L'intérêt du prototypage étant de tester un produit avant sa conception finale, il est nécessaire que ce test soit effectué auprès du public cible à qui le produit final est destiné, afin de se rassurer que les besoins de ce public soient pris en compte dans la conception finale. Cette conception centrée sur l'utilisateur fait intervenir la notion d'expérience utilisateur que nous présentons ci-dessous.

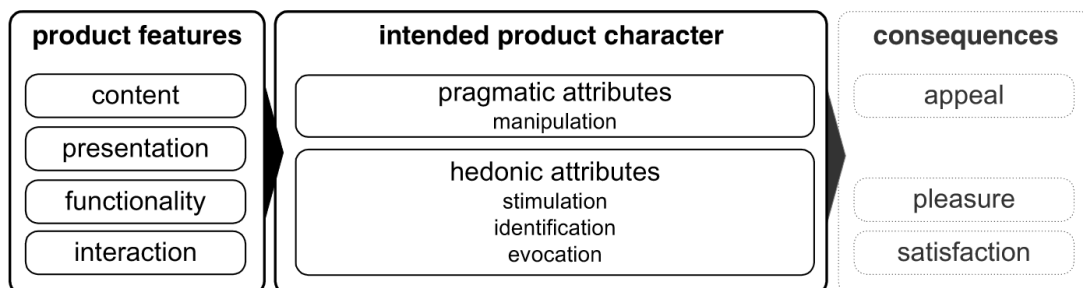
2.6 Expérience Utilisateur (UX)

Selon Lallemand et al (2015), le mot « *User Experience* » a été utilisé pour la première fois en 1990 par Donald Norman pour décrire tous les aspects de l'expérience qu'un utilisateur peut avoir avec un produit. Dès lors, il n'existe pas à ce jour un consensus quant à la définition de ce terme. Pour Norman et Nielsen, l'expérience utilisateur prend en compte tous les aspects de l'interaction utilisateurs avec le système, et s'assure en premier que le système puisse répondre aux besoins exacts des utilisateurs (Norman & Nielsen, s. d.). Ils mettent ainsi en évidence l'utilisabilité (*usability*) comme un élément central dans la conception de l'interaction homme-machine. L'utilisabilité ici n'étant pas perçue comme une caractéristique unidimensionnelle du

système, mais comme un ensemble de composantes ayant plusieurs attributs comme l'indique Nielsen (1994), dans son livre « Usability Engineering ». Comme attributs nous avons *Learnability* (facilité d'apprentissage du système), *Efficiency* (l'efficacité du système), *Memorability* (la capacité de l'utilisateur à retenir des choses du système), *Errors* (le pourcentage d'erreur du système) et *satisfaction* (la satisfaction de l'utilisateur en utilisant le système) (Nielsen, 1994).

Hassenzahl (2004), développe encore plus cette notion de caractéristique d'une UX en faisant la distinction entre les perspectives de l'UX du point de vue du concepteur et de l'utilisateur (Figure 1). Cette distinction le conduit ainsi à proposer ce modèle ci-dessous que nous avons extrait dans son article.

a) designer perspective



b) user perspective

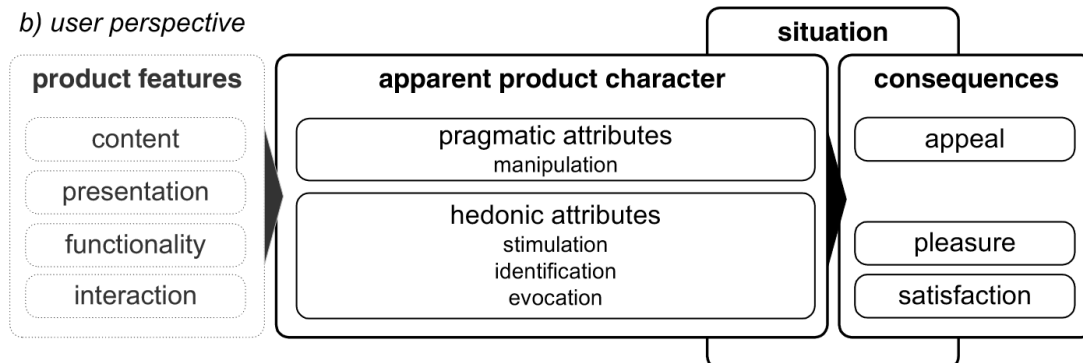


Figure 1 : « Key elements of the model of user experience from (a) a designer perspective and (b) a user perspective » (Hassenzahl, 2004 p.32).

À cet effet, l'évaluation d'une expérience utilisateur doit prendre en compte les qualités pragmatiques et hédoniques du système qui correspondent respectivement à la manipulation et aux stimuli du système.

Notons cependant que plusieurs méthodes existent pour l'évaluation d'une expérience utilisateur (Figure 2). Dépendamment des résultats escomptés et des objectifs de la recherche, tout en prenant en compte la présence ou non des utilisateurs lors de l'évaluation, nous pouvons avoir différentes méthodes comme illustrer ci-dessous.

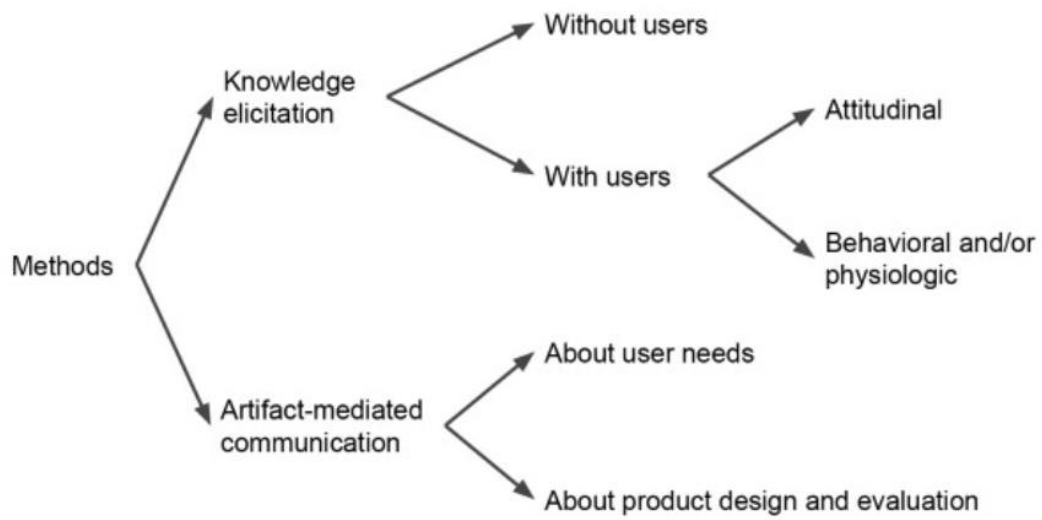


Figure 2 : Classification des méthodes UX (Kieffer et al., 2019 p.7)

Même si les objectifs de la recherche sont les principaux critères de choix de la méthodologie, le choix de la méthode peut tout de même être influencé par le Budget de la recherche et le temps nécessaire à la recherche (Edwards et al., 2020).

3. Description des prototypes VR et Storyboard

3.1 Description du prototype VR



Figure 3 : Salon de l'appartement en immersion VR

Le prototype VR utilisé a été développé au MIIL (*Media Innovation & Intelligibility Lab*) en utilisant Unreal comme plateforme de développement. Ce prototype simule la visite et l'aménagement d'un appartement dans un monde virtuel, ce qui permet aux participant·es de visiter et personnaliser leur futur appartement en fonction de leurs préférences.

Le prototype est conçu de façon à permettre à l'utilisateur de se déplacer dans le monde virtuel, soit en marchant, soit en se téléportant.

Il offre également la possibilité de changer le design d'un meuble ou la couleur d'un mur (Figure 4). Ainsi, les participant·es choisissent le meuble qui les convient parmi une liste de meubles.



Figure 4 : Modification du design des meubles dans la VR

Toutes ces actions de téléportation ou de changements de design sont réalisées grâce à des manettes que l'utilisateur tient en main au moment de l'expérience. Ces manettes sont représentées dans le monde virtuel par des mains (Figure 5).



Figure 5 : Représentation des mains dans le monde virtuel. Utilisation des manettes lors de l'expérience VR

Les cas d'utilisation à évaluer pour ce prototype sont les suivants : évaluer la capacité des participants à se déplacer dans l'environnement virtuel en marchant et en se téléportant et évaluer leurs capacités à personnaliser les éléments présents dans l'environnement virtuel (type de meuble, couleurs des murs).

3.2 Livrable 1 : Prototype Storyboard

Le prototype en storyboard à évaluer que nous avons conçu se base sur les mêmes cas d'utilisations du prototype VR. Il a été réalisé sur PowerPoint en utilisant des images extraites de l'enregistrement de l'expérience en VR. Ce storyboard permet de présenter la séquence d'action nécessaire pour la réalisation des tâches comme la téléportation, la modification du design du lit, sorti de l'appartement, etc. (Scénarios de test.)

La Figure 6 montre un exemple de storyboard pour la séquence d'action de modification du design du lit. Le storyboard intégral est disponible en annexe (**Annexe 6 : Storyboard**).

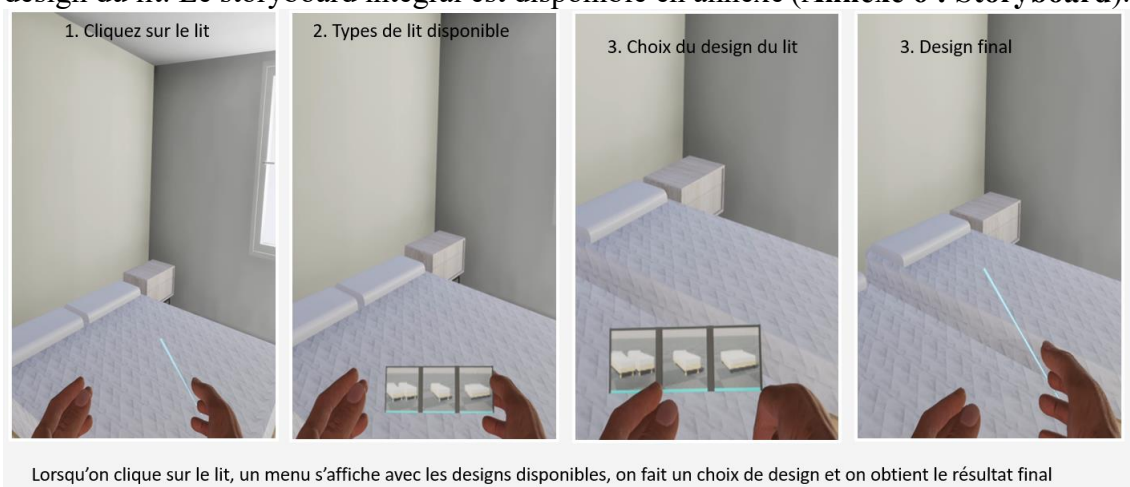


Figure 6 : Storyboard pour la modification du design du lit

4. Livrable 2 : Méthodologie

4.1 Objectif

L'objectif de cette recherche est de comparer le prototypage en VR et en storyboard. Pour ce faire, nous évaluons l'expérience utilisateur d'un prototype en VR, puis répliquons l'évaluation avec un storyboard correspondant au prototype VR. L'intérêt de faire cette comparaison est de déterminer celui qui offre la meilleure expérience en termes d'immersion, de présence, de réalisme, d'utilisabilité, etc., au meilleur coût.

Si la VR permet à l'utilisateur de vivre une expérience immersive avec une présence augmentée, le storyboard quant à lui présente une succession d'images avec des descriptions pour présenter un fait à l'utilisateur. Cependant, les coûts de développement sont très élevés pour la réalisation de la VR et le prototypage nécessite des compétences techniques de modélisation 3D et de programmation informatique. Contrairement à la VR, la réalisation du storyboard est très rapide, à un faible coût et ne nécessite pas les compétences techniques de haut niveau.

4.2 Scénarios de test

Pour mieux collecter les données en adéquations avec nos objectifs, nous demandons aux participants de réaliser un ensemble de tâches représentatives de l'expérience.

Ces tâches sont les suivantes :

1. Déplacez-vous jusqu'à la TV et retirez le casque.
2. Téléportez-vous dans la cuisine et retirez le casque.
3. Modifiez le design de la table et des chaises de cuisine et retirez le casque.
4. Modifiez la couleur des murs de la cuisine et retirez le casque.
5. Téléportez-vous dans la chambre, modifiez le design du lit et modifiez la couleur des murs et retirez le casque.
6. Essayez de sortir de l'appartement et retirez le casque.

Le retrait du casque entre chaque tâche est une mesure de précaution contre les risques associés à la VR.

4.3 Recrutement des participants

4.3.1 Caractéristiques de l'échantillon de la population

Pour notre étude, la taille de l'échantillon est de 20 personnes répartie comme suit :

- ❖ 10 personnes pour l'évaluation de l'expérience utilisateur en VR : Ces personnes peuvent être de différents sexes et avoir minimum 18 ans. Ils ou elles ne doivent en aucun cas présenter un signe de maladie et n'avoir pas été hospitalisés plusieurs mois avant l'étude.

❖ 10 personnes pour l'évaluation de l'expérience utilisateur du prototype en storyboard.

Les personnes ayant participé à l'expérience en VR ne pourront pas participer à l'expérience en storyboard, ceci afin d'avoir une meilleure qualité des résultats.

4.3.2 Stratégie de recrutement des participant·es

Plusieurs stratégies sont mises en œuvre pour le recrutement

Pour le recrutement des utilisateurs et utilisatrices des prototypes VR, un formulaire a été envoyé dans les groupes Facebook et dans les groupes des étudiants de communication et autres filières. Ce formulaire présente l'étude en entête, ainsi que les conditions de participation à l'étude. Après que les volontaires ont marqué leurs intérêts à participer, nous avons filtré les participant.es afin d'avoir uniquement ceux qui répondent aux conditions de l'étude.

4.3.3 Consentement éclairé et risques associés à la VR

Avant de participer à l'étude, chaque participant doit signer un formulaire de consentement qui le sera remis avant le début des tests (Annexe 3 : Formulaire de consentement).

Les expériences en VR n'étant pas toujours sans risque, dans ledit consentement nous mettons en avant des symptômes qui peuvent survenir suite à l'utilisation des casques VR. C'est ainsi que pour limiter ces risques nous effectuons un premier filtrage lors du recrutement des participant·es afin de ne pas prendre ceux présentant un symptôme de maladie, ou des mineurs et des personnes à mobilité réduite, etc.

Les tests en storyboard ne présentant aucun risque, ces restrictions lors des recrutements ne s'appliquent qu'aux participant·es devant faire des tests en VR.

4.4 Méthodes de collecte des données

Dans le cadre de notre travail, nous combinons les méthodes quantitatives et qualitatives afin d'avoir des résultats validables scientifiquement. Ainsi, comme méthodes à choisir, nous avons l'observation, l'UEQ+, le questionnaire sur la présence (IPQ) et un entretien semi-structuré. Ces méthodes ont été sélectionnées à l'issue d'expériences pilotes réalisées en mai 2023 (Annexe 1 : première collecte de données pour valider le dispositif).

L'utilisation de toutes ces méthodes nous permettent de mieux comparer différents prototypes en VR et en storyboard afin de comprendre pourquoi certaines caractéristiques sont mises en évidence dans certains prototypes et non pas d'autres. Les résultats obtenus dans chacune des méthodes contribuent à effectuer des recommandations sur les caractéristiques à prendre en compte selon le type de prototype que l'on souhaite développer.

4.4.1 Observation

L'observation est une méthode de recherche très appréciée pour la collecte de données qualitatives. Elle permet entre autres de suivre et observer l'activité des participant.es et de collecter les données telles que : la durée de réalisation des tâches, le nombre de recours à l'aide, le nombre d'erreurs ou d'hésitations, etc.

Dans cette recherche, nous observons ce qui se passe dans le monde virtuel via l'écran de contrôle, et consignons pour chaque scénario de test les données suivantes :

- Temps d'exécution en secondes
- Nombre de demandes d'aide
- Comportements qui empêchent la complétion de la tâche
- Croyances erronées que la tâche est terminée alors que non (et vice versa)
- Mauvaise interprétation d'un élément de contenu
- Remarque sur la marge d'amélioration du système

Nous observons également ce qui se passe dans le monde physique, et consignons les éventuels problèmes techniques ou problèmes rencontrés par les participant.es.

4.4.2 UEQ+

L'UEQ+ consiste à faire passer un questionnaire aux participant.es afin d'avoir leurs retours d'expériences (Annexe 4 : UEQ+). C'est un questionnaire qui contient 26 échelles et qui permet de collecter des données quantitatives d'une expérience utilisateur (Schrepp & Thomaschewski, 2019). Pour notre travail, nous avons sélectionné les 8 échelles suivantes : *Efficiency*, *Dependability*, *Stimulation*, *Haptics*, *Acoustics*, *Visual esthetics*, *Intuitive use*, *Quality of content*. Ces échelles sont pour nous les plus adaptées pour l'évaluation de l'expérience utilisateur de nos prototypes. Ils permettent d'évaluer les caractéristiques pragmatiques (manipulation) et hédoniques (stimuli) du prototype, qui sont des caractéristiques importantes pour une bonne UX (Hassenzahl, 2004).

La Figure 7 ci-dessous présente un exemple d'échelle de l'UEQ+. Cette échelle (Efficiency) évalue si la tâche peut être achevée sans avoir besoin d'effort. La question de cette échelle est : **To achieve my goals, I consider the product as** ; les quatre items de cette échelle sont : slow-fast ; inefficient-efficient ; impractical-practical ; cluttered-organized. Les participant.es donnent un score allant de 1 à 7 pour chaque item, 1 étant la plus faible valeur, donc qui traduit une expérience moins bonne et 7 correspondants à une meilleure expérience.

À la suite de ces items, les participant·es répondent à la question d'importance de l'échelle qui est la suivante : **I consider the product property described by these terms as**. En réponse, on a completely irrelevant — Very important ; il faut aussi donner un score allant de 1 à 7.

Please only check one circle in each line.

	1	2	3	4	5	6	7
Efficiency							
To achieve my goals, I consider the product as							
slow	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fast
inefficient	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	efficient
impractical	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	practical
cluttered	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	organized
I consider the product property described by these terms as							
Completely irrelevant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Very important

Figure 7 : Échelle Efficiency de l'UEQ+ (Schrepp & Thomaschewski, 2019).

4.4.3 Groupe présence questionnaire (IPQ)

L'IPQ (Figure 8) est un questionnaire permettant de mesurer la présence dans un environnement virtuel. Il est constitué de trois sous échelles permettant d'évaluer la présence spatiale, l'engagement utilisateur, ainsi que le réalisme (Regenbrecht & Schubert, 2002). La présence étant le sentiment d'être immergé dans l'expérience, nous utilisons cette échelle afin de voir si le niveau de présence ou d'immersion est le même tant dans un prototype en environnement virtuel que dans un prototype en storyboard. Elle est également utilisée afin de pouvoir comparer le niveau de réalisme de ces deux prototypes. La Figure 8 présente quelques questions extraites du questionnaire IPQ (Annexe 5 : IPQ).

1. How aware were you of the real world surrounding while navigating in the virtual world? (i.e. sounds, room temperature, other people, etc.)?

not aware at all	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	extremely aware
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3		
	moderately aware								

2. How real did the virtual world seem to you?

not real at all	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completely real
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3		

3. I had a sense of acting in the virtual space, rather than operating something from outside.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3		

4. How much did your experience in the virtual environment seem consistent with your real world experience?

not consistent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	very consistent
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3		
	moderately consistent								

Figure 8 : Extrait de quelques questions de l'IPQ (Regenbrecht & Schubert, 2002).

4.4.4 Entretien semi-structuré (Debriefing)

L'entretien semi-structuré est utilisé à la fin de l'expérience afin d'avoir des clarifications et des commentaires des participant·es sur leurs expériences sur les deux prototypes testés. Dans cet entretien, nous collectons les données sur les aspects positifs de l'expérience, les aspects à améliorer, et les clarifications des scores UEQ+ et IPQ.

4.5 Déroulement des tests

Pour le bon déroulement des tests, et pour avoir des résultats valides, il est important d'avoir un protocole de test qui s'applique de la même façon pour tous les participant·es. À cet effet, le Tableau 3 présente l'ordre de déroulement des tests en fonction de l'expérience. Dès lors, une croix (X) dans une case indique que l'activité est réalisée dans l'expérience correspondante.

Tableau 3 : Ordre de déroulement des tests dans l'expérience VR et storyboard

Déroulement des tests	Expérience VR	Expérience storyboard
Accueil du participant	X	X
Signature du formulaire de consentement	X	X
Exercice de prise en main	X	
Taches 1 à 6	Réalisation	Observation
Observation	X	
Questionnaires UEQ+	X	X
Questionnaire IPQ	X	X
Débriefing	X	X

L'exercice de prise en main est réalisé en début d'expérience afin de se rassurer que tous les participant·es aient une base dans l'utilisation du système de réalité virtuelle (manettes, casques, commandes du système, etc.). Pour cet exercice, nous avons élaboré une prise en main simpliste qui montre comment tenir les manettes, se téléporter et modifier le design des meubles ou de la couleur des murs (Figure 9).

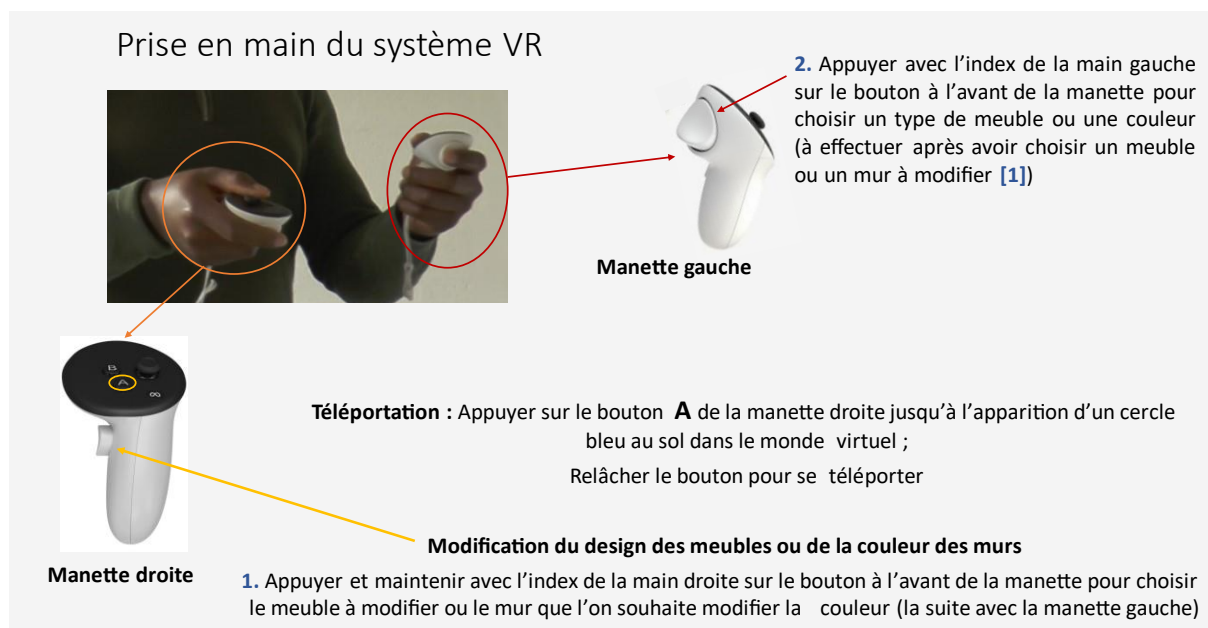


Figure 9 : Exercice de prise en main du système VR

5. Livrable 3 : Résultats et interprétation des tests en VR et en storyboard (ST)

5.1 Expérience utilisateur UEQ+

Résultats bruts + interprétation des résultats

Les tests nous ont permis de collecter les données de l'expérience UEQ tant en VR qu'en storyboard. Ces données sont consignées dans un fichier Excel fourni par les auteurs comme fichier d'analyse, ce qui nous permet d'avoir des visualisations sous forme de graphiques et tableaux de nos données. Pour assurer la compatibilité des résultats avec le format original défini par les auteurs, l'échelle de score de 1 à 7 est transformée en une échelle de -3 à +3.

5.1.1 Échelles UX

La Figure 10 présente une visualisation graphique de la moyenne pour chaque échelle ainsi que l'erreur type associée (barre noire). L'erreur type indique le niveau de précision des moyennes.

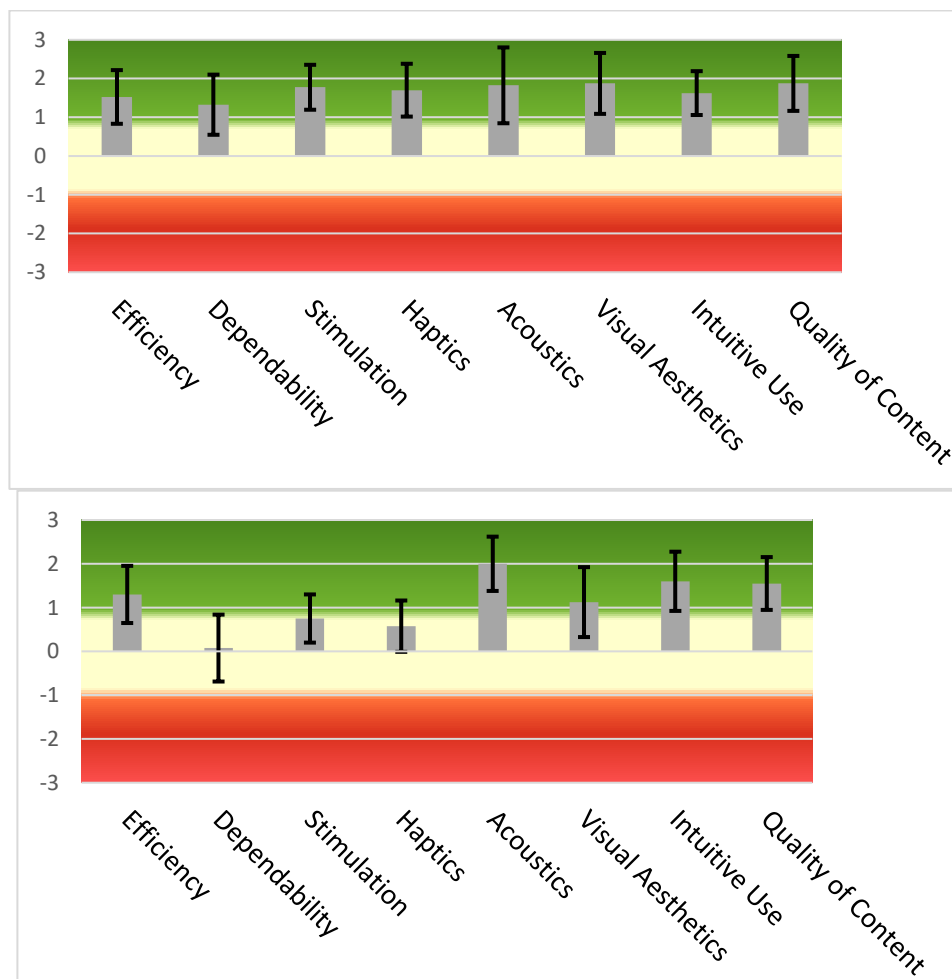


Figure 10 : Moyenne des scores obtenus pour chaque échelle de l'UEQ+ (haut : expérience VR ; bas : expérience ST)

Tableau 4 : Moyenne, écart-type et erreur type par échelle et par expérience

Échelles	N	Moyenne		Écart-type	
		VR	ST		ST
Efficiency	10	1,53	1,30	1,12	1,05
Dependability	10	1,33	0,08	1,25	1,23
Stimulation	10	1,78	0,75	0,94	0,89
Haptics	10	1,70	0,58	1,10	0,95
Acoustics	10	1,83	2,00	1,58	1,00
Visual Aesthetics	10	1,88	1,13	1,27	1,29
Intuitive Use	10	1,63	1,60	0,91	1,09
Quality of Content	10	1,88	1,55	1,14	0,97

Interprétation des moyennes. Nous observons une moyenne générale élevée pour l'expérience VR (M=1,37) par rapport au storyboard (M=0,89). Cette différence de moyenne traduit une UX meilleure dans l'expérience VR que dans l'expérience ST.

Expérience VR. Les scores vont de 1,33 (*dependability*) à 1,88 (*Visual aesthetics*, *Quality of content*), ce qui indique une UX supérieure à la moyenne et par conséquent montre que les participant·es sont satisfaits du système.

Les échelles *Visual Aesthetics*(1,88), *Quality of Content*(1,88), *Acoustics*(1,83) sont les plus excellent. Ceci montre que les participant·es sont satisfaits de l'esthétique du système ou encore de sa beauté, de la qualité d'informations fournies par le système ainsi que son aspect sonore.

Les échelles *Stimulation* (1,78), *Haptics*(1,70) et *Intuitive Use*(1,63) présentent de bons scores pour le système. En effet, les participant·es ont eu une expérience stimulante, sont satisfaits des retours des commandes du système et enfin ont eu une utilisation intuitive du système.

Les échelles *Efficiency*(1,53) et *Dependability*(1,33) sont moyens pour le système, ce qui veut dire que les participant·es trouvent le système efficace, mais pas très suffisant pour l'accomplissement des tâches, et de plus les participant·es n'ont pas le sentiment de contrôle sur tout le système.

Expérience ST. Les scores vont de 0,08 (*dependability*) à 2 (*Acoustics*), ce qui indique une UX pas très satisfaisante.

L'échelle *Acoustics*(2) a un score excellent. Ceci montre que le storyboard est harmonieux, pas bruyant, ce qui est apprécié par les participants.

Les échelles *Intuitive Use*(1,60), *Quality of Content*(1,55) et *Efficiency*(1,30) sont relativement bons pour le système. En effet, les participant·es ont eu une utilisation intuitive du système, ont apprécié la qualité des informations disponibles dans le système et ont trouvé le système efficace, mais pas suffisant.

Les échelles *Visuals Aesthetics*(1,13), *Dependability*(0,80), *stimulation* (0,75) et *Haptics*(0,58) sont mauvais pour le système. Les participant·es ont trouvé le storyboard sans style, ils n'ont pas eu le sentiment de contrôle, l'utilisation du système n'était pas stimulante et de plus ils n'ont pas eu de retours haptiques de la part du système.

Nous pouvons ainsi dire, au regard des caractéristiques de chaque prototype, que les résultats ne sont pas surprenants. En effet, la VR est dynamique et interactive, ce qui rend les participant·es actifs, alors que dans le storyboard, les participant·es subissent l'expérience, car le prototype est statique. En comparaison des résultats de la VR et du storyboard, il ressort que le storyboard est meilleur pour tester les attributs *Efficiency*, *Acoustics*, *Intuitive Use* et *Quality of Content* d'un système.

Analyse et interprétation des écarts-types. L'écart-type mesure la dispersion entre les résultats dans notre échantillon. Plus la valeur de l'écart-type est faible, plus les participant·es sont d'accord, et inversement. Dans l'expérience VR, les échelles *Stimulation* et *Intuitive Use* sont celles ayant un accord élevé, et les autres échelles ont un accord faible tandis que dans l'expérience ST, les échelles *Stimulation*, *Haptics* et *Quality of Content* ont un accord élevé contrairement au reste d'échelle. Nous constatons ainsi plus de rapprochement entre les résultats du storyboard, contrairement à ceux de la VR.

Analyse des erreurs types. L'erreur type indique le niveau de fiabilité des résultats. La taille de la barre varie en fonction de la taille de l'échantillon et de la concordance entre les résultats. Plus la barre est élevée, moins il y a de concordance entre les résultats. Nous observons dans nos résultats que la barre est élevée pour la plupart d'échelle. Ceci peut se traduire par la faible taille de notre échantillon (N=10).

5.1.2 Importance relative des échelles

La Figure 11 présente une visualisation graphique de la moyenne du niveau d'importance pour chaque échelle ainsi que l'erreur type associée (barre noire). L'erreur type indique le niveau de précision des moyennes.

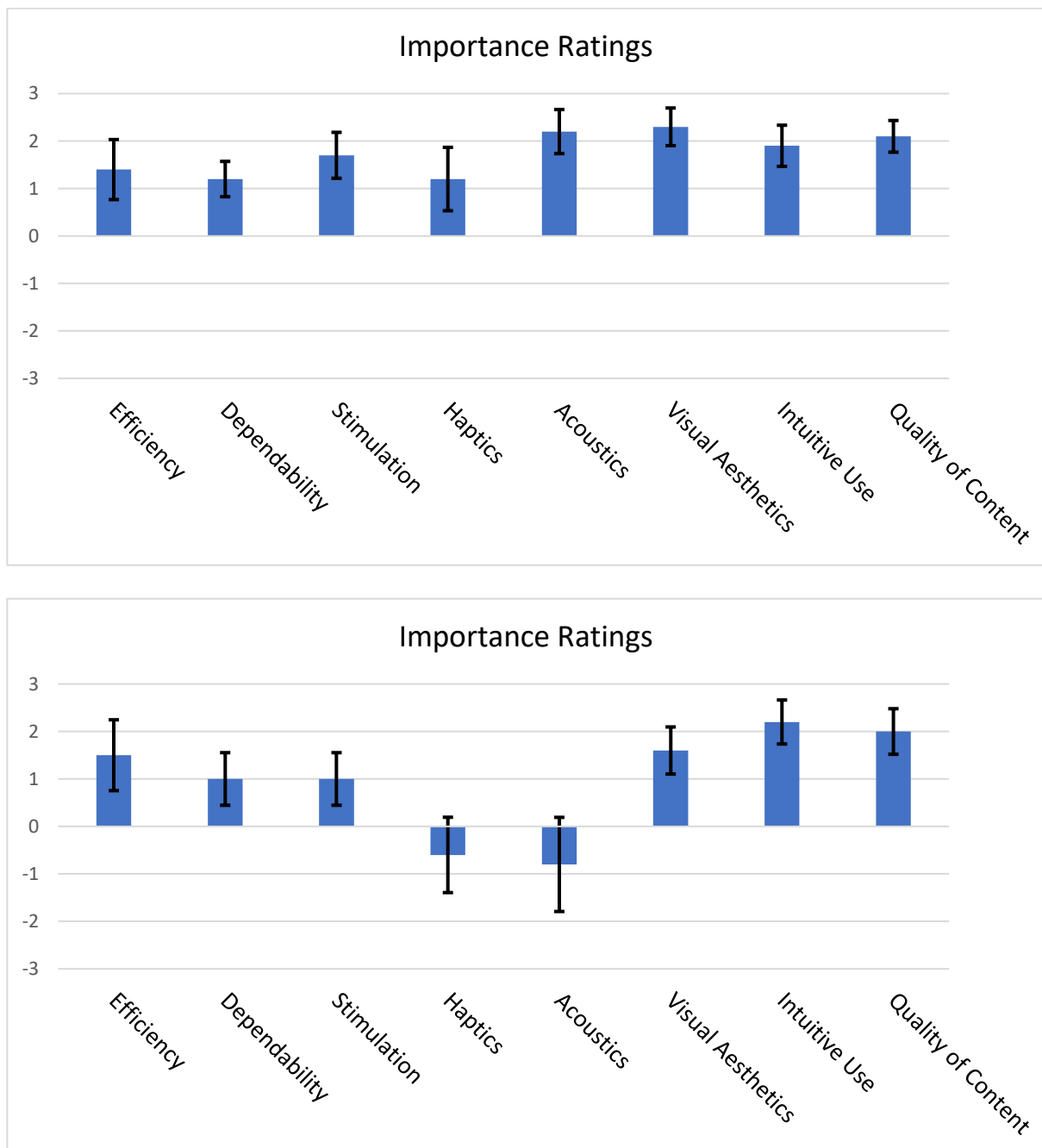


Figure 11 : Importance de chaque échelle de l'UEQ+ (haut : expérience VR ; bas : Expérience ST)

Tableau 5 : Moyenne et écart-type de l'importance des échelles en fonction de l'expérience

Échelles	N	Moyenne		Écart-type	
		VR	ST	VR	ST
Efficiency	10	1,40	1,50	1,02	1,20
Dependability	10	1,20	1,00	0,60	0,89
Stimulation	10	1,70	1,00	0,78	0,89
Haptics	10	1,20	-0,60	1,08	1,28
Acoustics	10	2,20	-0,80	0,75	1,60
Visual Aesthetics	10	2,30	1,60	0,64	0,80
Intuitive Use	10	1,90	2,20	0,70	0,75
Quality of Content	10	2,10	2,00	0,54	0,77

Interprétation des moyennes. À l'opposé des échelles *Haptics* et *Acoustics* qui sont les moins importantes pour l'expérience ST, le reste d'échelles sont relativement importantes pour les deux expériences.

Dans la VR, les participant·es accordent une importance élevée pour les échelles, ce qui se traduit par le niveau d'engagement qu'ils ont eu avec le système alors que dans l'expérience ST, l'importance est relativement faible. La faible importance pour l'expérience ST peut se traduire par le niveau d'engagement faible pour ce type d'expérience dû au fait que le prototype soit statique et moins stimulant.

Interprétation des écarts-types. Dans l'expérience VR, les échelles *Dependability*, *Visual Aesthetics* et *Quality of Content* ont un accord élevé ; *Stimulation*, *Acoustics* et *Intuitive Use* ont un accord moyen, *Efficiency* et *Haptics* ont un accord faible. Dans l'expérience ST, les échelles qui présentent les moins d'accord sont *Efficiency*, *Haptics* et *Acoustics*. Ces résultats ne sont pas surprenants, car le storyboard n'est pas efficace pour mesurer les caractéristiques haptiques et acoustiques du système.

Interprétation des erreurs types. Nous observons dans les deux expériences que la taille des barres n'est pas très élevée pour les échelles ayant un accord élevé. Ce qui justifie de la fiabilité des résultats pour ces échelles. De plus, pour conclure sur cette fiabilité et précision des résultats, il convient de tester les prototypes avec un échantillon plus large.

5.2 Expérience utilisateur IPQ

Les données collectées sont consignées dans un classeur Excel. Pour l'analyse, nous avons calculé les moyenne et écart-type pour chaque échelle et sous échelles, et enfin nous avons généré des graphiques sur Excel. L'IPQ est subdivisé en plusieurs catégories qui sont (Regenbrecht & Schubert, 2002) :

- ❖ **General presence (PRES)** qui est le sentiment d'être présent dans l'expérience ;
- ❖ **Spatial presence(SP)** qui est le sentiment d'être entouré par l'environnement virtuel (SP1), le sentiment de percevoir les images (SP2), le sentiment de ne pas être présent dans l'espace virtuel (SP3), le sentiment d'agir dans l'environnement virtuel (SP4) et le sentiment d'être présent dans l'environnement virtuel (SP5).
- ❖ **Involvement(INV)**, qui mesure l'immersion du système, plus spécifiquement le sentiment d'être conscient du monde réel (INV1), le sentiment de non-conscience du monde réel (INV2), faire attention au monde réel (INV4) et être captivé par l'environnement virtuel (INV5).
- ❖ **Experienced realism (REAL)** qui mesure globalement le niveau de réalisme du système. Elle permet de mesurer si l'environnement virtuel est réel ou non réel (REAL1), si l'expérience est similaire à l'environnement réel (REAL2), si l'environnement virtuel est imaginaire ou réel (REAL3) et si l'environnement virtuel est plus réaliste que l'environnement réel (REAL4).

La Figure 12 présente une visualisation des scores reçus pour chaque échelle de chaque catégorie en fonction de l'expérience. Le Tableau 6 présente les moyennes et écarts-types pour chacune de ces échelles en fonction de l'expérience.

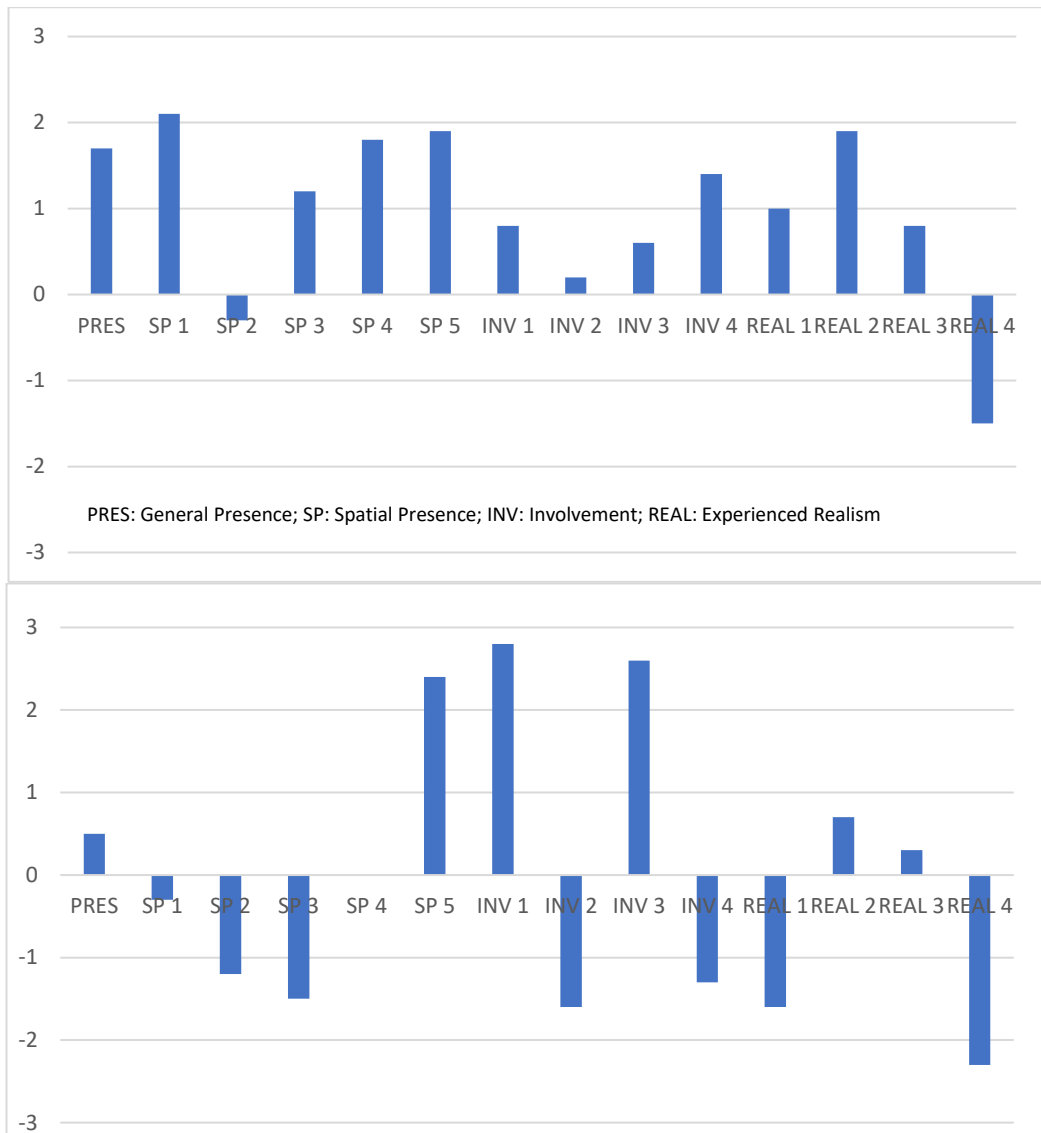


Figure 12 : Score moyen par sous-échelle et par expérience (haut : expérience VR ; bas : expérience ST)

Tableau 6 : Moyenne et écart-type des échelles de l'IPQ en fonction de l'expérience (VR et storyboard)

Items			Moyenne		Écart-type	
			VR	ST	VR	ST
General presence	PRES	In the computer generated world, I had a sense of "being there".	1,7	0,5	0,67	1,43
Spatial presence	SP 1	I had a sense of acting in the virtual space, rather than operating something from outside.	2,1	-0,3	1,10	1,88
	SP 2	I did not feel present in the virtual space.	-0,3	-1,2	1,15	1,39
	SP 3	Somehow I felt that the virtual world surrounded me.	1,2	-1,5	1,13	1,26
	SP 4	I felt present in the virtual space.	1,8	0	1,13	1,82
	SP 5	I felt like I was just perceiving pictures.	1,9	2,4	0,73	0,51
Involvement	INV 1	How aware were you of the real world surrounding while navigating in the virtual world? (i.e. sounds, room temperature, other people, etc.)?	0,8	2,8	1,68	0,42
	INV 2	I was not aware of my real environment.	0,2	-1,6	1,87	1,89
	INV 3	I still paid attention to the real environment.	0,6	2,6	1,89	0,69
	INV 4	I was completely captivated by the virtual world.	1,4	-1,3	1,34	1,76
Experienced Realism	Real 1	How real did the virtual world seem to you?(real/not real)	1	-1,6	1,63	1,26
	Real 2	How much did your experience in the virtual environment seem consistent with your real world experience?	1,9	0,7	0,99	2,11
	Real 3	How real did the virtual world seem to you?(imagined/real)	0,8	0,3	1,47	1,49
	Real 4	The virtual world seemed more realistic than the real world.	-1,5	-2,3	1,35	0,82

Interprétation des moyennes. Globalement, nous observons une différence significative de moyenne entre l'expérience VR et l'expérience ST (Figure 12). Cette différence montre qu'une expérience en VR est plus immersive, réaliste et offre un sentiment de présence élevé par rapport à une expérience en storyboard.

Dans la VR (Tableau 6), on observe un score élevé pour la présence générale, le sentiment d'agir dans l'espace virtuel, le sentiment de présence dans l'expérience, la perception des images et la similitude entre l'environnement réel et l'environnement virtuel. Ces scores à l'exception de la perception d'image montrent que les participant·es se sont sentis immergés dans l'expérience, ce qui a renforcé leurs niveaux d'engagement. La perception d'image quant à elle permet de montrer que l'expérience n'était pas très fidèle à la réalité. Cependant, les scores sont faibles pour les autres caractéristiques (niveau de réalisme, monde virtuel

imaginaire, etc.), ce qui montre que bien que l'expérience soit immersive, les éléments du monde virtuel ne sont pas plus réalistes que ceux du monde réel.

Dans le storyboard (Tableau 6), les scores sont élevés pour la perception d'images, la conscience du monde réel, et l'attention continue sur le monde réel. Ces résultats montrent qu'une expérience en storyboard n'est pas immersive et ne détourne pas les participant·es du monde réel. Ainsi, comme l'indiquent les autres scores en rouge dans le *Tableau 6*, les participant·es n'ont aucun sentiment de présence dans l'environnement virtuel, et l'environnement virtuel n'est pas réaliste.

En comparaison des résultats des prototypes VR et storyboard, les résultats obtenus correspondent aux attentes, car l'expérience VR est dynamique et offre un espace semblable au réel aux participant·es, ce qui accroît leurs sentiments de présence et d'immersion, contrairement au storyboard qui est statique et se déroule en conditions réelles.

Interprétation des écarts-types (Tableau 6). Dans la VR, nous observons que les valeurs de l'écart-type sont faibles (couleur verte) pour le sentiment de présence, la perception d'images et la similitude des environnements réels et virtuels. Ces faibles valeurs indiquent un accord élevé entre les participant·es pour ces échelles.

Dans le storyboard, les accords sont élevés pour la perception des images, la conscience du monde réel, l'attention focalisée sur le monde réel et le niveau de réalisme entre les mondes virtuels et réels. Ces résultats ne sont pas surprenants du point de vue du storyboard, car ce type de prototype n'offre pas une immersion et les images ne sont pas réalistes. En revanche, du point de vue de la VR, les résultats sont un peu surprenants, car il n'y a pas assez d'accords dans les résultats entre participant·es (03 accords élevés, 04 accords moyens et 07 accords faibles) alors que la VR offre une grande immersion par son dynamisme et l'engagement qu'elle offre.

La *Figure 13* montre un aperçu de manière globale des différences de score pour l'immersion, la présence, le réalisme et la présence générale du système, en fonction de l'expérience.

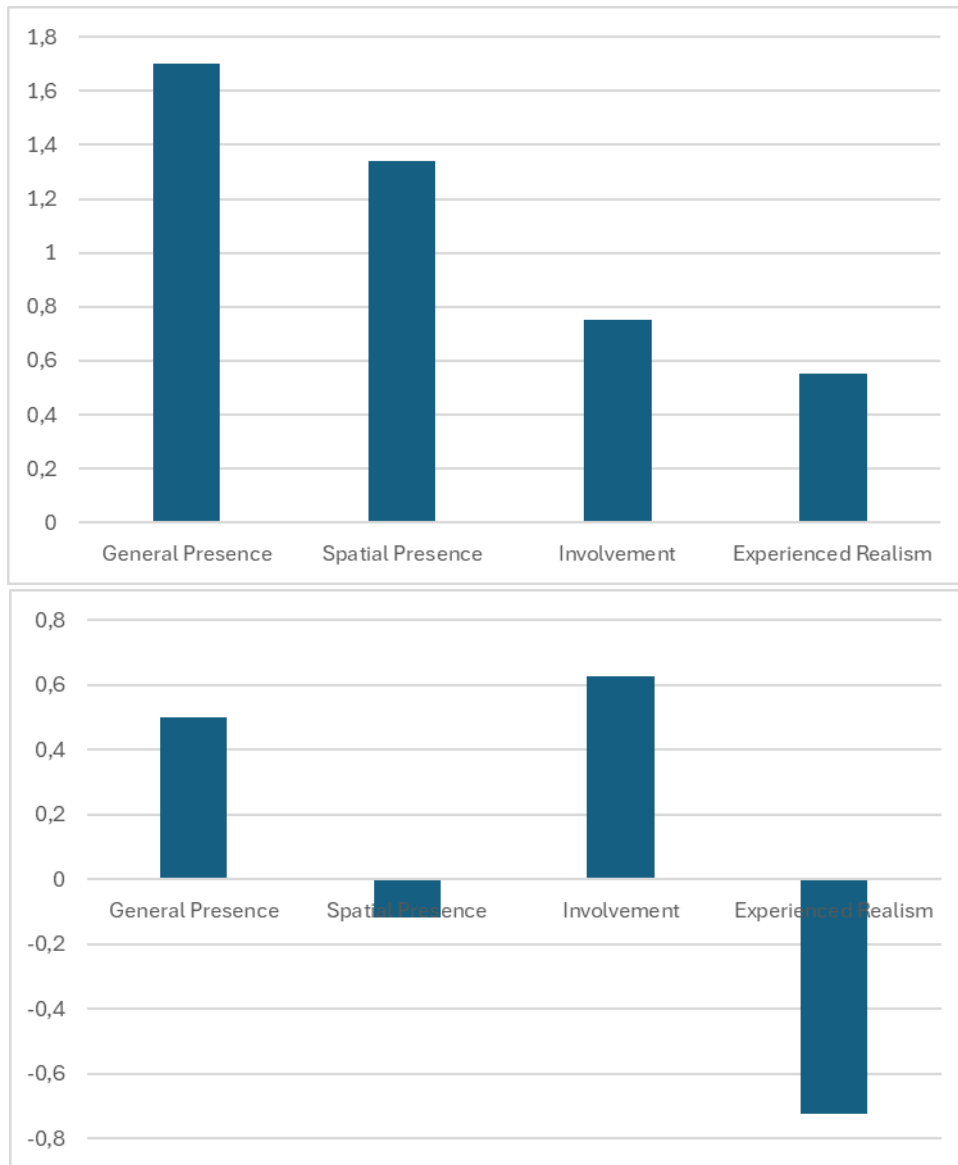


Figure 13 : Score moyen par catégorie d'échelle et par expérience (haut : expérience VR ; bas : expérience ST)

En conclusion sur l'IPQ, nous pouvons dire que la VR est indispensable pour les prototypes qui offrent un sentiment de présence, une immersion et un réalisme aux participant·es.

5.3 Observations VR

L'âge moyen des participant·es VR est de 29 ans, tandis que celui du storyboard est de 24 ans. Afin d'analyser les performances des participant·es lors de l'expérience VR, nous avons utilisé un écran de contrôle qui nous permet de voir concrètement les actions des participant·es dans l'environnement virtuel, en plus de l'observation directe des participant·es afin de voir comment les manettes sont utilisées. Ainsi, la Figure 14 est une visualisation de l'évolution du temps d'exécution en seconde par tâche et par participant·e, le Tableau 7 présente le temps d'exécution en seconde par tâche et par participant et le présente le nombre d'appels à l'aide et d'hésitations par tâche et par participant·e.

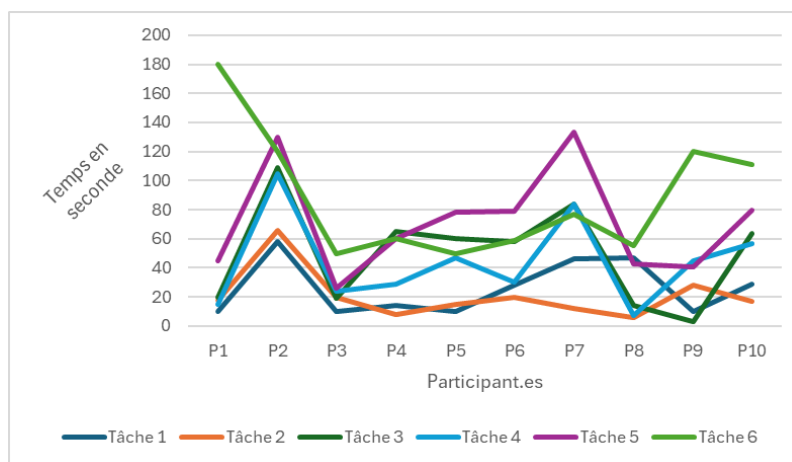


Figure 14 : Évolution du temps d'exécution en seconde par tâche et par participant

Tableau 7 : Temps d'exécution exprimé en secondes par tâche et par participant·e

Tâches	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Moyenne	Écart-type
T1	10	58	10	14	10	28	46	47	10	29	26,2	18,39
T2	18	66	20	8	15	20	12	6	28	17	21	17,03
T3	20	109	19	65	60	58	84	14	3	64	49,6	34,29
T4	15	105	24	29	47	30	84	7	45	57	44,3	30,78
T5	45	130	26	60	78	79	133	43	41	80	71,5	36,54
T6	180	120	50	60	50	59	77	55	120	111	88,2	43,15

Tableau 8 : Nombre de recours à l'aide par tâche et par participant (P1-P10)

Tâches	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Moyenne	Écart-type
T1	1	2	1	0	0	0	2	1	0	0	0,7	0,82
T2	0	2	1	0	3	0	0	0	1	1	0,8	1,03
T3	0	3	0	2	3	1	3	0	2	2	1,6	1,26
T4	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0,4	0,51
T5	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0,3	0,67
T6	5	3	2	2	2	2	1	4	2	1	2,4	1,26

❖ **Analyse du temps d'exécutions (Tableau 7, Figure 14)**

Analyse des moyennes : les données nous montrent que le temps d'exécution moyen varie relativement pour chaque deux tâches. Nous observons que les tâches 1 et 2 sont les plus rapides à réaliser, suivies des tâches 3 et 4, et enfin les tâches 5 et 6 qui prennent le plus de temps.

Analyse des écarts-types : Tout de même comme les moyennes, les écarts-types sont faibles pour les tâches 1 et 2, ce qui traduit une faible variation de résultats pour les deux tâches comme nous pouvons voir sur la Figure 14. Cependant, la valeur de l'écart-type est plus élevée pour les tâches 5 et 6, ce qui montre une grande variabilité dans les temps d'exécutions de ces tâches.

❖ **Analyse des recours à l'aide et hésitations (Tableau 8)**

Analyse des moyennes : l'analyse des moyennes nous montre que les tâches 4 et 5 (couleurs vertes) sont celles n'ayant pas nécessités assez d'aides et dont les hésitations ont été minimales. Cependant, les tâches 3 et 6 sont celles ayant nécessité plusieurs appels à l'aide et des hésitations.

Analyse des écarts-types : l'analyse nous montre que l'évolution des écarts-types est similaire par rapport à celle des moyennes. Ainsi les tâches 4 et 5 sont celles ayant une variabilité faible contrairement aux tâches 3 et 6.

Les hésitations manifestées lors de l'expérience par les participant·es étaient celles de savoir si la tâche est accomplie ou pas tandis que les recours à l'aide démontrent une complexité dans l'exécution de certaines tâches.

5.4 Débriefing

Le débriefing effectué à la fin de l'expérience nous a permis d'avoir une explication sur la performance des participant·es et des éventuelles remarques. Comme remarques, nous avons :

❖ **Les aspects positifs de l'expérience :**

Dans la VR, les aspects positifs sont : l'exercice de prise en main qui a permis de comprendre le fonctionnement du système ; le gain de temps pour la visite d'un appartement ; l'aspect esthétique et visuel du prototype ; le fait de se sentir présent dans l'expérience ;

l'aspect stimulant et immersif de l'expérience. Dans le storyboard, les participant·es ont trouvé de positifs l'efficacité du système, l'utilisation intuitive et le gain de temps. Nous remarquons que la VR a plus de points positifs que le storyboard.

❖ Les aspects du système qu'il faudrait améliorer :

Dans la VR :

- L'aspect réalisme. Les participant·es ne trouvent pas le design des meubles réaliste, car ils peuvent passer à travers ces objets, ce qui ne reflète pas la réalité.
- L'ajout des affordances dans l'environnement virtuel afin d'orienter les participant·es dans les tâches à effectuer
- Ajouter la possibilité de se téléporter à l'extérieur de l'appartement et d'ouvrir les portes de l'appartement
- Ajouter de la sonorisation afin d'accroître l'immersion

Dans le storyboard, les aspects à améliorer sont les aspects stimulations, afin d'augmenter le niveau d'engagement utilisateur et aussi l'aspect l'esthétique visuelle et réalisme.

En effet, les participant·es rapportent avoir eu la sensation de consulter un catalogue IKEA lors des tests VR.

La VR possède plus d'aspects à améliorer contrairement au storyboard, mais nous remarquons que l'aspect réalisme revient dans les deux cas, ce qui est un point commun des deux expériences.

Les participant·es n'ont pas eu des problèmes lors des tests, mais ont dit avoir été un peu frustrés lorsqu'ils cherchaient la sortie de l'appartement. De plus, l'espace réel pour les tests n'étant pas très grands, les participant·es ont eu de la crainte à se heurter contre les murs bien que nous les ayons rassurées de les orienter dans le monde réel.

5.5 Croisement des données

Dans cette section, nous croisons les données quantitatives de l'UEQ+ et l'IPQ avec les données d'observations et de débriefing.

Les données de l'UEQ+ (Tableau 4, VR) montrent que l'échelle Visual Aesthetics a eu un excellent score (1,88) ce qui est en adéquation avec les aspects positifs de l'expérience énumérés par les participant·es dans le débriefing. De plus, les échelles Efficiency et Dependability ont eu de mauvais scores, ce qui s'explique dans le débriefing par le manque d'affordances dans le système, ce qui a réduit l'efficacité du système. Cette efficacité s'est fait ressentir dans les résultats d'observations, avec les temps d'exécutions élevés pour les tâches 5 et 6 (Tableau 7). Dans le storyboard, les explications du débriefing nous confirment les résultats de l'UEQ+ qui montrent que le storyboard est efficace et offre une utilisation intuitive.

Concernant l'IPQ (Figure 13, VR), nous remarquons que les catégories, immersions et réalismes sont celles ayant eu les moins de scores, ce qui s'explique dans le débriefing par la crainte des participant·es de se heurter contre un obstacle et aussi le fait de passer à travers les objets, qui a eu un effet sur l'aspect réaliste du design. Dans le storyboard, c'est le même scénario, les participant·es ont trouvé le système peu réaliste comme énumérer dans le débriefing, ce qui explique un faible score du réalisme dans l'IPQ.

Compte tenu des explications données par les participant·es, et suites à ce croisement des résultats, nous pouvons conclure qu'il n'y a pas de contradiction entre les données tant de la VR que du storyboard, ce qui renforce la validité des résultats.

6. Livrable 4 : Recommandations en termes de prototypage

Ce projet nous a permis d'étudier les méthodes de prototypage en réalité virtuelle et en storyboard. L'analyse des résultats obtenus à la fin de la recherche nous permet d'établir un tableau de recommandation (Tableau 9) des choix de prototypage entre la VR et le storyboard en termes d'efficacité, de rapidité d'exécution, de présence, de réalisme, d'immersion, etc. Ces recommandations sont basées sur les résultats de l'UEQ+, de l'IPQ, ainsi que sur notre expérience d'utilisation des prototypes lors des tests. « Oui », dans le tableau indique qu'il est préférable d'utiliser cette condition pour tester la caractéristique concernée. Par exemple, il est préférable d'utiliser le storyboard pour tester l'efficacité du système, au lieu de la VR.

Tableau 9 : Recommandations des caractéristiques à prendre en compte lors du choix de l'outil de prototypage entre VR et storyboard

Caractéristiques	VR	Storyboard
Attributs UEQ+		
Efficiency	Non	Oui
Dependability	Oui	Non
Stimulation	Oui	Non
Haptics	Oui	Non
Visual Aesthetics	Oui	Non
Intuitive Use	Non	Oui
Quality of Content	Non	Oui
Acoustics	Oui	Non
Attributs IPQ		
Immersion	Oui	Non
Présence	Oui	Non
Réalisme	Élevé	Faible
Engagement utilisateur	Élevé	Faible
Selon notre expérience personnelle		
Complexité de développement	Très complexe	Facile
Cout de développement	Élevé	Faible
Temps de développement	Élevé	Réduit
Maintenance	Complexe	Facile
Évaluation UX	Complexe	Simple
Prise en main du prototype	Complexe	Facile
Rapidité d'exécution	Moins rapide	Très rapide

7. Conclusion

7.1 Synthèse

L'objectif de ce projet était de comparer les solutions de prototypage en réalité virtuelle et en storyboard, d'évaluer leurs expériences utilisateur et d'en produire des recommandations. L'intérêt de cette recherche est de déterminer le prototype qui offre le plus d'expérience en termes d'immersion, de réalisme, d'utilisabilité, de meilleurs coûts de développement, etc.

Pour parvenir à ce projet, nous avons répliqué sur le prototype VR sous forme de storyboard et avons effectué des tests utilisateurs des deux prototypes.

Les résultats d'analyses nous ont montré que l'expérience en VR offre le plus de perspective en termes d'immersion, de réalisme et de présence contrairement à l'expérience en storyboard. Dès lors, le storyboard permet de réaliser un prototypage rapide, efficace, à faible coût et ne nécessite pas de compétences techniques de haut niveau.

Ces résultats obtenus nous permettent de dire que bien que la VR offre les avantages d'immersions et de réalismes contrairement au storyboard. Cependant, ses inconvénients sont aussi nombreux (coût de développement élevé, évaluation de l'UX difficile). Ainsi, les caractéristiques du prototype sont à prendre en compte lors du choix de la méthode de prototypage, ainsi que les besoins réels des utilisateurs et des coûts disponibles pour la réalisation des prototypes.

7.2 Limites de la recherche

La recherche effectuée présente plusieurs limites tant dans les résultats que dans l'évaluation des dispositifs. Sans financement pour compenser le temps des participant·es, nous avons eu des difficultés à trouver des participant·es pour l'expérience VR. En effet, compte tenu des risques associés à la VR, le choix de l'échantillon est très judicieux, ce qui nous a permis de recruter 10 personnes pour l'expérience VR et 10 personnes pour le storyboard. Bien que le nombre de participant·es soit faible, la passation des tests est très longue, ce qui nécessite du temps et des ressources. Pour compenser ce faible nombre de participant·es, nous avons défini un nombre de tâches suffisant et représentatif du prototype afin de maintenir une validité scientifique raisonnable.

7.3 Discussions et perspectives

Compte tenu des limites de la recherche, nous suggérons d'avoir des ressources permettant de recruter davantage de personnes, afin d'avoir un échantillon assez représentatif. De plus, le storyboard étant statique et moins engageant pour les participant·es, nous suggérons pour des recherches futures de faire des comparaisons entre les prototypes VR et d'autres types de prototypages comme le prototypage vidéo. Nous estimons que le prototypage vidéo, même s'il est tout aussi statique comme le storyboard, offre une immersion comparée à ce dernier.

8. Bibliographie

Auvray, M., & Fuchs, P. (2007). Perception, immersion et interactions sensorimotrice en environnement virtuel. *Intellectica*, 45(1), 23-35. <https://doi.org/10.3406/intel.2007.1265>

Baccino, T. (2009). Prototypage. *Document numérique*, 12(2), 133-144.

Berkman, M. I., & Akan, E. (2019). Presence and Immersion in Virtual Reality. In N. Lee (Éd.), *Encyclopedia of Computer Graphics and Games* (p. 1-10). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_162-1

Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). Chapter 1 : Introduction. *Virtual Reality Technology*, 1-15.

Burkhardt, J.-M. (2003). VR et ergonomie : Quelques apports réciproques. *Le travail humain*, 66(1), 65-91. <https://doi.org/10.3917/th.661.0065>

Chamaret, D. (s. d.). *plateforme de VR pour l'étude de l'accessibilité et de l'extraction de lampes sur prototype virtuel automobile*. 176.

Edwards, R., Huber, B., & Kramarova, O. (2020). Observations on the Field of UX Research. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64(1), 1571-1575. <https://doi.org/10.1177/1071181320641375>

Freitas, G., Pinho, M. S., Silveira, M. S., & Maurer, F. (2020). A Systematic Review of Rapid Prototyping Tools for Augmented Reality. *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, 199-209. <https://doi.org/10.1109/SVR51698.2020.00041>

Fuchs, P., & Arnaldi, B. (2006). *Le traité de la VR*. Presses des MINES.

Gobin Mignot, É., Wolff, B., & Kempf, N. (2019). Chapitre 6. De nouveaux outils pour les formateurs. In *Former avec la VR* (p. 103-125). Dunod. <https://www.cairn.info/former-avec-la-realite-virtuelle--9782100801367-p-103.htm>

Hassenzahl, M. (2004). The Thing and I : Understanding the Relationship Between User and Product. In M. A. Blythe, K. Overbeeke, A. F. Monk, & P. C. Wright (Éds.), *Funology : From Usability to Enjoyment* (p. 31-42). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-2967-5_4

- Kieffer, S., Rukonic, L., Kervyn de Meerendré, V., & Vanderdonckt, J. (2019). Specification of a UX Process Reference Model towards the Strategic Planning of UX Activities: *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, 74-85. <https://doi.org/10.5220/0007693600740085>
- Kieffer, S., & Vanderdonckt, J. (2023). *A Comparison of Paper Sketch and Interactive Wireframe by Eye Movements Analysis, Survey, and Interview*. Hawaii International Conference on System Sciences 2023. <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:269190>
- Lallemand, C., Gronier, G., & Koenig, V. (2015). User experience: A concept without consensus ? Exploring practitioners' perspectives through an international survey. *Computers in Human Behavior*, 43, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.048>
- Levy, F., Rautureau, G., & Jouvent, R. (2017). La thérapie par la VR dans la prise en charge des troubles anxieux. *L'information psychiatrique*, 93(8), 660-663. <https://doi.org/10.1684/ipe.2017.1688>
- Meccawy, M. (2022). Creating an Immersive XR Learning Experience: A Roadmap for Educators. *Electronics*, 11(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/electronics11213547>
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.
- Norman, D., & Nielsen, J. (s. d.). *The Definition of User Experience (UX)*. Nielsen Norman Group. Consulté 19 décembre 2023, à l'adresse <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>
- Regenbrecht, H., & Schubert, T. (2002). Real and Illusory Interactions Enhance Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(4), 425-434. <https://doi.org/10.1162/105474602760204318>
- Schrepp, M., & Thomaschewski, J. (2019). *Construction and first Validation of Extension Scales for the User Experience Questionnaire (UEQ)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19260.08325>
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2016.00074>
- Vanderdonckt, J., & Coyette, A. (2006). *Vers un prototypage des interfaces graphiques incluant vraiment l'utilisateur final*. Proceedings of 10ième Colloque Int. sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée ERGO-IA'2006. <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:17605>

9. Annexe 1 : première collecte de données pour valider le dispositif

Dispositif méthodologique 1 (mai 2023)

Je l'ai testé et amélioré de la manière suivante :

Dans le cadre de notre travail, nous combinons les méthodes quantitatives et qualitatives afin d'avoir des résultats validables scientifiquement. Ainsi, comme méthodes choisies, nous avons l'impression testing, l'observation, l'UEQ+, UES short form et un entretien semi-structure.

La méthode d'impression testing permet de récolter les premières impressions que peuvent avoir les participant.es dans un environnement virtuel. En effet, le participant est immergé pendant 5 secondes dans le monde virtuel et à l'issue de cette première expérience il doit répondre aux questions comme :

Quels sont les éléments dont vous vous souvenez ?

Quel est le sujet de la scène VR ?

Que feriez-vous ensuite dans cet environnement ?

L'environnement était-il confortable ?

- L'observation est importante pour l'étude, car elle permet de suivre et observer l'activité de l'utilisateur dans le monde virtuel. Ainsi, on peut noter à l'issue de l'observation des informations comme la durée de réalisation des tâches, le nombre de recours à l'aide, le nombre d'erreurs ou d'hésitations.
- L'UEQ+ consiste à faire passer un questionnaire aux participant.es afin d'avoir leurs retours d'expériences. C'est un questionnaire qui contient 26 échelles et qui permet de collecter des données quantitatives. Pour notre travail, nous utilisons les échelles suivantes :
- L'UES short form est un questionnaire constitué de 4 sous échelles nous permettant de mesurer l'engagement utilisateur. Ces sous-échelles sont : Focused attention, Perceived usability, Aesthetic appeal et Reward.
- L'entretien semi-structuré est utilisé autant pour avoir les avis des développeurs et designer sur leurs choix de méthode de prototypages que pour les participant.es en fin d'expérience. L'objectif étant de discuter sur les éventuels problèmes rencontrés lors de l'expérience.

L'utilisation de toutes ces méthodes nous permettra de mieux comparer différents prototypes en VR afin de comprendre pourquoi certaines caractéristiques sont mises en évidence dans certains prototypes et non pas d'autres. Nous pourrons ensuite effectuer des recommandations sur les caractéristiques à prendre en compte selon le type de prototype que l'on souhaite développer.

9.1 Mise en œuvre de la méthodologie :

9.1.1 Passation :

- Accueil
- Impression testing
- Exercice de prise en main

- Observation de l'exécution des tâches dans le monde virtuel
- Questionnaires UEQ+
- Questionnaire UES short form
- Débriefing.

9.1.2 Recrutement des participants :

Développeur :

Nous avons sollicité un développeur VR déjà connu pour l'entretien et il a marqué son intérêt de participer à l'étude.

Utilisateur :

Pour l'expérimentation cotée utilisateur, nous avons recontacté un participant ayant participé deux mois à l'avance à l'expérience sur le prototype de visite de l'appartement. Il avait cependant marqué son intérêt pour d'éventuelles expériences immersives. Étant donné que ce prototype n'a pas connu de modifications durant cette période, nous avons réutilisé les données collectées précédemment sur ce participant. La prise en main a été très facile, car le participant avait déjà eu un exercice de prise en main, et donc se souvenait des boutons de commande de la manette.

9.2 Tests utilisateurs : Résultats et interprétation

9.2.1 First impression

Tableau 10 : Présentation des résultats de l'impression testing (expérience pilote)

Impression testing	
P1_ appartement	
Questions	Réponse
1. Quels sont les éléments dont vous vous souvenez de la scène ?	Il était dans un salon, il a vu une table et des fauteuils, il y avait une garde-robe/armoire à côté, et un autre salon de l'autre côté.
2. Quel est le sujet de la scène de VR ?	Comme si l'on présentait un appartement ou une maison.
3. Que feriez-vous ensuite dans cet environnement ?	M'assois, me balader, me promener pour voir les différents objets, donner mon appréciation par rapport à ce que j'ai vu.
4. L'environnement était-il confortable ?	Oui, c'était confortable, il y avait des tables et chaises, et c'était propre.
P2_ SalleBlanche	
Questions	Réponse
1. Quels sont les éléments dont vous vous souvenez de la scène ?	Dépoussiérer la porte, le ventilateur, une personne dans le monde virtuel
2. Quel est le sujet de la scène de VR ?	Fermeture de la porte

3. Que feriez-vous ensuite dans cet environnement ?	Ouvrir/fermer une porte
4. L'environnement était-il confortable ?	Oui, c'était confortable
P3_Bigbang	
Questions	Réponse
1. Quels sont les éléments dont vous vous souvenez de la scène ?	Un bureau, un tableau
2. Quel est le sujet de la scène de VR ?	L'enseignement
3. Que feriez-vous ensuite dans cet environnement ?	Suivre un enseignement
4. L'environnement était-il confortable ?	Oui, c'était confortable

Comme le montre ce tableau, on observe que les participants ont pu clairement identifier le sujet de la scène de VR dans le premier et le troisième prototype, ainsi que les actions pouvant être réalisées, contrairement au deuxième prototype. On peut alors dire qu'en fonction du prototype, dès les premières secondes, les participants sont en mesure de déterminer l'objet de ces prototypes, ce qui justifie l'aspect affordance de ces derniers.

9.2.2 Observation :

Tableau 11 : Résultat de l'observation lors du déroulement des expériences (expérience pilot)

Prototypes	Temps seconde en	Nombre d'aide	Nombre d'hésitation	Nombre d'erreurs
P1_appartement	713	10	15	2
P2_salleBlanche	710	5	7	10
P3_Bigbang	700	6	4	8

D'après ce tableau, l'écart entre le temps d'exécution des différents prototypes est relativement faible. Étant donné que le prototype 1 dispose de plus de fonctionnalités que les autres prototypes, nous pouvons en déduire que le temps utilisé pour le prototype 1 est très raisonnable, malgré le nombre de recours d'aide élevé. En revanche, on peut aussi déduire que le temps de déroulement est plus élevé pour les prototypes deux et trois en raison du nombre d'erreurs commises par les participants.

9.2.3 Résultats UEQ+

Pour cette méthode, nous avons choisi 8 échelles qui semblent les plus raisonnables pour évaluer l'expérience. Après administration du questionnaire, le résultat est le suivant :

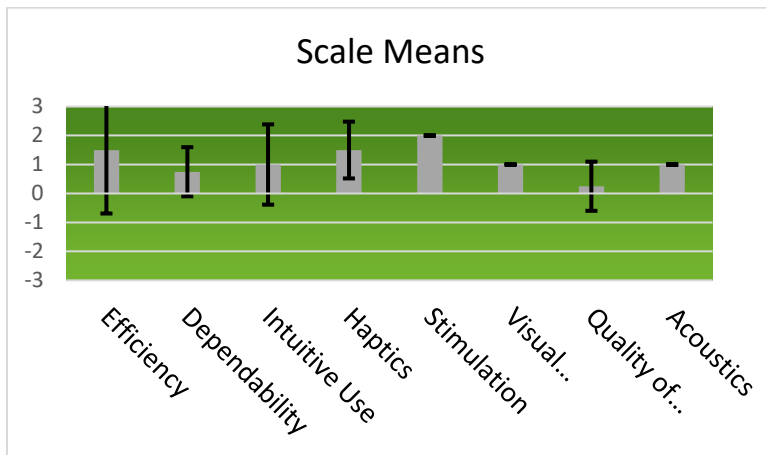


Figure 15 : Score moyen par échelle pour le prototype 1 (Appartement, expérience pilot)

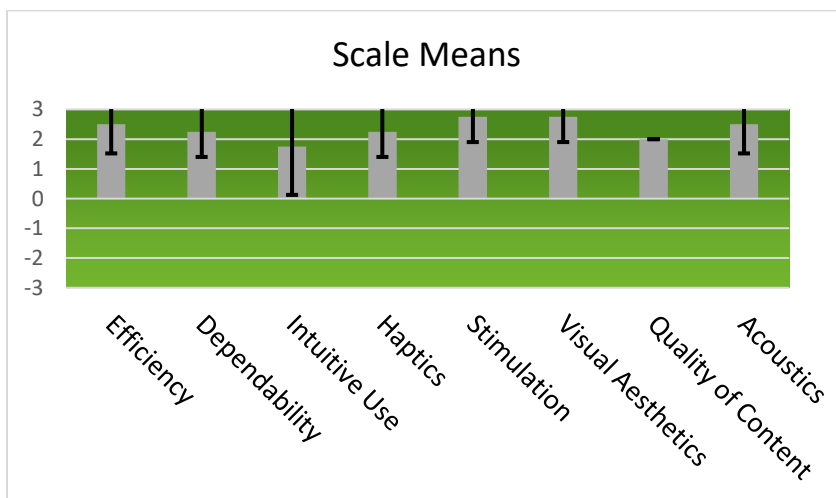


Figure 16 : Score moyen par échelle pour le prototype 2 (Salle blanche, expérience pilot)

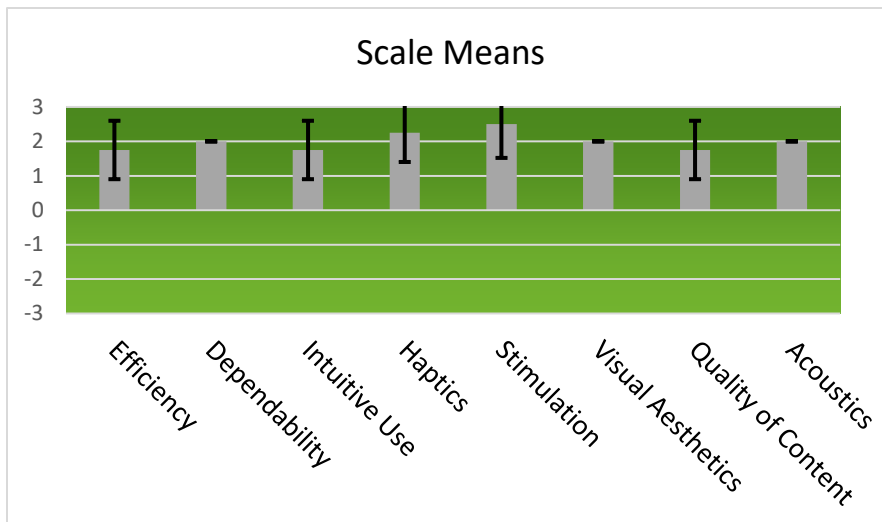


Figure 17 : Score moyen par échelle pour le prototype 3 (Bigbang, expérience pilot)

Nous remarquons que dans ces figures, les propriétés des prototypes sont meilleures pour la plupart dans les prototypes 2 et 3 (Figure 16 et Figure 17) contrairement au prototype 1. Cette différence peut être due au fait que ces deux prototypes 2 et 3 disposent des retours auditifs qui orientent les participant.es sur les tâches à effectuer, et donc peut affecter les autres propriétés comme *intuitive use*, *stimulation* et *acoustics*. Les tests s'étant déroulés avec un seul participant, nous n'avons pas suffisamment de données pour tirer davantage de conclusion.

9.2.4 Résultats sur l'engagement utilisateur (UES short form) :

En résumé, les participant.es ont été satisfaits des expériences et les ont trouvées très enrichissantes. L'aspect esthétique des environnements virtuels a été également apprécié. En revanche, les participant.es ont eu d'énormes difficultés avec le système de glisser-déposer des prototypes 2 et 3, ce qui a engendré un bon nombre d'erreurs lors de la réalisation de leurs tâches. Ainsi, c'est l'aspect mis en avant dans les améliorations.

9.3 Amélioration du dispositif :

Pour l'amélioration du dispositif, nous avons supprimé l'impression testing ainsi que le questionnaire UES et avons ajouté le questionnaire IPQ qui nous permet de mesurer la présence.

10. Annexe 2 : Gestion des figures et des tableaux

10.1 Liste des figures

Figure 1 : « Key elements of the model of user experience from(a) a designer perspective and (b) a user perspective » (Hassenzahl, 2004 p.32).	9
Figure 2 : Classification des méthodes UX (Kieffer et al., 2019 p.7)	10
Figure 3 : Salon de l'appartement en immersion VR	11
Figure 4 : Modification du design des meubles dans la VR	11
Figure 5 : Représentation des mains dans le monde virtuel. Utilisation des manettes lors de l'expérience VR	12
Figure 6 : Storyboard pour la modification du design du lit	12
Figure 7 : Échelle Efficiency de l'UEQ+ (Schrepp & Thomaschewski, 2019).	16
Figure 8 : Extrait de quelques questions de l'IPQ (Regenbrecht & Schubert, 2002).	17
Figure 9 : Exercice de prise en main du système VR	18
Figure 10 : Moyenne des scores obtenus pour chaque échelle de l'UEQ+ (haut : expérience VR ; bas : expérience ST)	19
Figure 11 : Importance de chaque échelle de l'UEQ+ (haut : expérience VR ; bas : Expérience ST)	22
Figure 12 : Score moyen par sous-échelle et par expérience (haut : expérience VR ; bas : expérience ST)	25
Figure 13 : Score moyen par catégorie d'échelle et par expérience (haut : expérience VR ; bas : expérience ST)	28
Figure 14 : Évolution du temps d'exécution en seconde par tâche et par participant	29
Figure 15 : Score moyen par échelle pour le prototype 1 (Appartement, expérience pilot)	41

Figure 16 : Score moyen par échelle pour le prototype 2 (Salle blanche, expérience pilot)
.....41

Figure 17 : Score moyen par échelle pour le prototype 3 (Bigbang, expérience pilot)...42

10.2 Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des caractéristiques des différents niveaux de fidélité (Vanderdonckt & Coyette, 2006, p.03).....6

Tableau 2 : Tableau comparatif des plateformes de conception d'expériences immersives (Meccawy, 2022).....8

Tableau 3 : Ordre de déroulement des tests dans l'expérience VR et storyboard17

Tableau 4 : Moyenne, écart-type et erreur type par échelle et par expérience20

Tableau 5 : Moyenne et écart-type de l'importance des échelles en fonction de l'expérience
.....23

Tableau 6 : Moyenne et écart-type des échelles de l'IPQ en fonction de l'expérience (VR et storyboard)26

Tableau 7 : Temps d'exécution exprimé en secondes par tâche et par participant.e.....29

Tableau 8 : Nombre de recours à l'aide par tâche et par participant (P1-P10).....29

Tableau 9 : Recommandations des caractéristiques à prendre en compte lors du choix de l'outil de prototypage entre VR et storyboard.....33

Tableau 10 : Présentation des résultats de l'impression testing (expérience pilot)39

Tableau 11 : Résultat de l'observation lors du déroulement des expériences (expérience pilot)
.....40

11. Annexe 3 : Formulaire de consentement

Objectif de l'étude

Dans le cadre de mon mémoire de fin de Master, vous êtes invitée à participer à une étude dont l'objectif est d'évaluer un système en réalité virtuelle.

Ce qui est attendu de vous

Si vous acceptez de participer, il vous sera demandé de :

- Réaliser un exercice de prise en main du système (5 min)
- Réaliser six tâches avec le système (15 min)
- Répondre à deux questionnaires portant sur votre expérience avec le système (10 min)
- Débriefing avec les expérimentateur-rices (5 min)

La durée totale de la passation ne devrait pas excéder 40 minutes. Il est possible de faire des pauses entre les six tâches de l'étape 3.

Votre droit de vous retirer à tout moment

Votre participation à cette étude est volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non, et de vous retirer de l'étude à tout moment sans préjudice.

Risques

Il n'existe pour l'instant pas de consensus statistique concernant les risques pour la santé associés à l'exposition à la VR. Néanmoins, la littérature scientifique documente déjà une série de symptômes et effets induits par la VR, dont l'intensité varie en fonction des contenus proposés et des sensibilités individuelles, parmi lesquels on trouve :

- La cybercécité : pâleur, sensation de malaise, troubles visuels, désorientation, maux de tête, fatigue, vertiges, nausées, vomissements, tachycardie, hypersalivation. Ces symptômes peuvent apparaître dans les cinq minutes qui suivent le début de l'exposition, mais disparaissent généralement assez vite après.
- Les effets des incongruences sensorielles : difficultés à retrouver son habileté manuelle optimale et à s'orienter dans le monde réel. Ces symptômes peuvent persister jusqu'à deux heures après l'exposition.
- Les risques associés à la lumière émise par les écrans : maux de tête, migraine, fatigue visuelle, voire crises d'épilepsie. Ces symptômes peuvent apparaître même si les yeux ne les perçoivent pas, surtout chez les enfants et adolescents dont le cristallin est en cours de maturation.

Population cible

En raison des risques énumérés ci-dessus, cette étude ne s'adresse ni aux mineurs, ni aux individus avec des antécédents d'épilepsie, ni aux individus portant un plâtre ou une attelle, ni aux personnes à mobilité réduite, ni aux femmes enceintes. Cette étude s'adresse aux personnes de 18 ans ou plus, en bonne santé, sans antécédents d'épilepsie, ne portant ni plâtre ni attelle, et qui, en cas d'expositions à la VR

antérieures, n'ont présenté aucun des symptômes ci-dessus ou seulement des symptômes légers.

Mitigation des risques

Un moment de détente sera proposé après la réalisation des six tâches de l'étape 3 à qui en ressentira le besoin parmi la population cible, la population à risque ayant été exclue.

Confidentialité et protection de la vie privée

Votre participation est entièrement anonyme et confidentielle. Les données collectées incluent votre âge, le nombre d'expériences antérieures avec la VR, vos réponses aux questionnaires, vos commentaires libres, vos performances lors de la réalisation des tâches. La confidentialité des données collectées sera assurée conformément au règlement général sur la protection des données (RGPD). Ni les données collectées, ni les résultats de la recherche ne pourront en aucun cas conduire à votre identification. Les données anonymisées seront exploitées uniquement dans le cadre de la réalisation du nœud.

Poser des questions à tout moment

Vous pouvez poser des questions sur la recherche à tout moment, soit en demandant aux expérimentateur-rices, soit par courrier électronique à l'adresse maxime.kamgue@student.uclouvain.be

Consentement à la participation

En remplissant ce formulaire de consentement, vous certifiez que vous avez lu et compris les informations ci-dessus, que nous avons répondu à vos questions de manière satisfaisante et que nous vous avons informé-e que vous êtes libre de retirer votre consentement ou de vous retirer de cette étude à tout moment et sans préjudice.

- J'ai lu et compris les informations ci-dessus et j'accepte de participer à cette étude.
- Je refuse de participer à cette étude.

Date :

Signature :

12. Annexe 4 : UEQ+

Please only check one circle in each line.

1 2 3 4 5 6 7

Efficiency

To achieve my goals, I consider the product as

slow fast
 inefficient efficient
 impractical practical
 cluttered organized

I consider the product property described by these terms as
 Completely irrelevant Very important

Dependability

In my opinion, the reactions of the product to my input and command are

unpredictable predictable
 obstructive supportive
 not secure secure
 does not meet expectations meets expectations

I consider the product property described by these terms as
 Completely irrelevant Very important

Stimulation

In my opinion, handling and working with the product are

not interesting interesting
 boring exiting
 inferior valuable
 demotivating motivating

I consider the product property described by these terms as
 Completely irrelevant Very important

Haptics

In my opinion, the surface of the product is

unstable stable
 unpleasant to the touch pleasant to the touch
 rough smooth
 slippery slip-resistant

I consider the product property described by these terms as

Completely irrelevant Very important

Acoustics

The noise during use of the product is

loud quiet
 dissonant melodic
 booming dampened
 piercing soft

I consider the product property described by these terms as
 Completely irrelevant Very important

Visual Aesthetics

In my opinion, the visual design of the product is

ugly beautiful
 lacking style stylish
 unappealing appealing
 unpleasant pleasant

I consider the product property described by these terms as
 Completely irrelevant Very important

Intuitive Use

In my opinion, using the product is

difficult easy
 illogical logical
 not plausible plausible
 inconclusive conclusive

I consider the product property described by these terms as
 Completely irrelevant Very important

Quality of Content

In my opinion, the information and data provided by the product are

obsolete up-to-date
 not interesting interesting
 poorly prepared well prepared
 incomprehensible comprehensible

I consider the product property described by these terms as
 Completely irrelevant Very important

13. Annexe 5 : IPQ

IGROUP PRESENCE QUESTIONNAIRE

Participant ID: _____ Date _____

1. How aware were you of the real world surrounding while navigating in the virtual world? (i.e. sounds, room temperature, other people, etc.)?

not aware at all	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	extremely aware
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
			moderately aware					

2. How real did the virtual world seem to you?

not real at all	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completely real
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

3. I had a sense of acting in the virtual space, rather than operating something from outside.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

4. How much did your experience in the virtual environment seem consistent with your real world experience?

not consistent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	very consistent
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
			moderately consistent					

5. How real did the virtual world seem to you?

about as real as an imagined world	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	indistinguishable from the real world
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

6. I did *not* feel present in the virtual space.

felt present	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	not feel present
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

7. I was *not* aware of my real environment.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

8. In the computer generated world, I had a sense of "being there".

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

9. Somehow I felt that the virtual world surrounded me.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

10. I felt present in the virtual space.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

11. I still paid attention to the real environment.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

12. The virtual world seemed more realistic than the real world.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

13. I felt like I was just perceiving pictures.

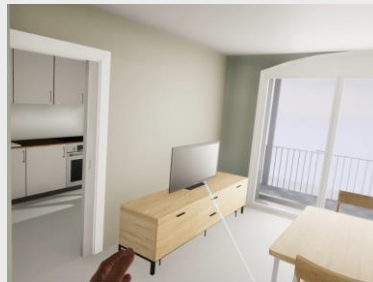
fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

14. I was completely captivated by the virtual world.

fully disagree	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	fully agree
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

14. Annexe 6 : Storyboard

Ce storyboard simule la visite d'un appartement virtuel, ainsi que la personnalisation de cet appartement en fonction des besoins de l'utilisateur (modification des meubles, etc.)



L'expérience est une immersion sous casque VR, et l'utilisation des manettes pour exécuter certaines actions dans le monde virtuel



Prise en main du système VR



Manette gauche

2. Appuyer avec l'index de la main gauche sur le bouton à l'avant de la manette pour choisir un type de meuble ou une couleur (à effectuer après avoir choisi un meuble ou un mur à modifier [1])



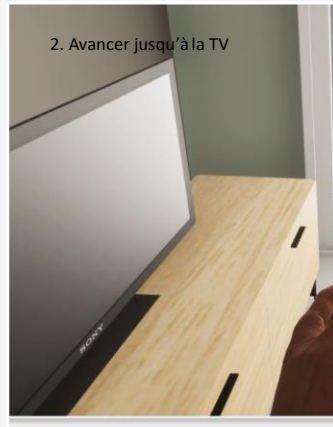
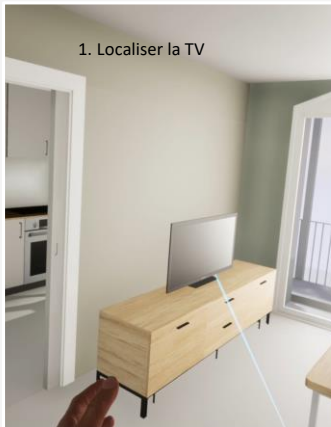
Manette droite

Téléportation : Appuyer sur le bouton **A** de la manette droite jusqu'à l'apparition d'un cercle bleu au sol dans le monde virtuel ;
Relâcher le bouton pour se téléporter

Modification du design des meubles ou de la couleur des murs

1. Appuyer et maintenir avec l'index de la main droite sur le bouton à l'avant de la manette pour choisir le meuble à modifier ou le mur que l'on souhaite modifier la couleur (la suite avec la manette gauche)

Tâche 1 : Se déplacer jusqu'à la TV



Les déplacements se font en marchant dans le monde physique

Tâche 2 : Se téléporter à la cuisine

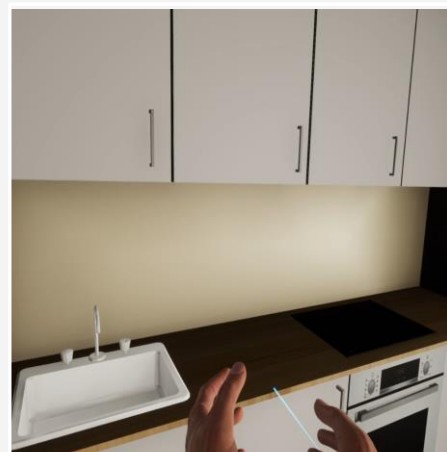
1. Localiser la porte de la cuisine



2. Appuyer le bouton de téléportation de la manette (apparition du cercle bleu)



3. Téléportation réussie à la cuisine



Tâche 3 : Modifier le design des meubles de la cuisine

1. Sélectionner le meuble à modifier



2. Choisir un design dans la liste



3. Sélectionner le type de chaise souhaité



Tâche4 : Modifier la couleur des murs de la cuisine

1. Sélectionner le mur à modifier la couleur



2. Sélectionner une couleur

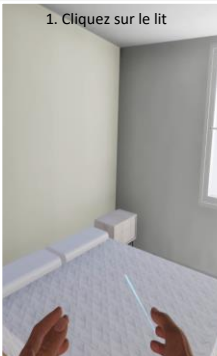


3. Résultat final



Tâche5.1 : Modification du design du lit

1. Cliquez sur le lit



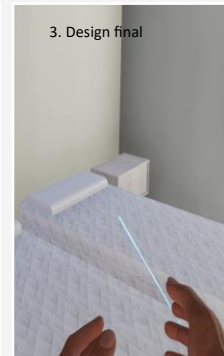
2. Types de lits disponibles



3. Choix du design du lit



3. Design final



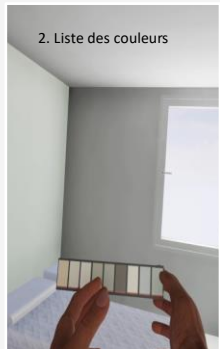
Lorsqu'on clique sur le lit, un menu s'affiche avec les designs disponibles, on fait un choix de design et l'on obtient le résultat final

Tâche5.2 : Modifier la couleur des murs de la chambre

1. Cliquer sur le mur



2. Liste des couleurs



3. Choix de la couleur

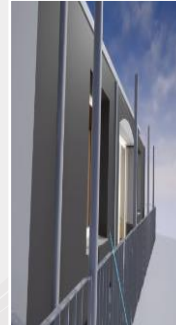
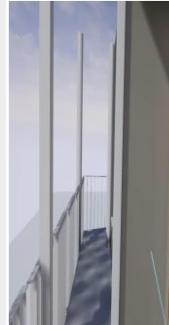
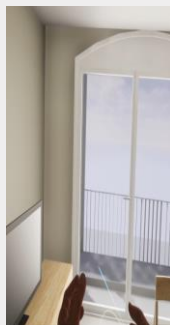


4. Résultat final



Tâche6 : Sortie de l'appartement

Pour sortir de l'appartement, on se téléporte proche de la porte, et l'on marche jusqu'à l'extérieur



Résumé

Cette recherche permet d'évaluer l'expérience utilisateur d'un prototype VR, puis de répliquer ce prototype en storyboard afin de comparer l'expérience utilisateur des deux prototypes et en produire des recommandations.

Les résultats de l'expérience nous ont montré que l'expérience en VR offre le plus de perspective en termes d'immersion, de réalisme et de présence contrairement à l'expérience en storyboard. Dès lors, le storyboard permet de réaliser un prototypage rapide, efficace, à faible coût et ne nécessite pas de compétences techniques de haut niveau.

Ces résultats sont collectés en utilisant une méthodologie mixte. Nous avons administré des questionnaires UEQ+ et IPQ, suivi d'une observation et d'un débriefing.

À la fin de ce travail, nous présentons des recommandations à prendre en compte pour le choix de l'outil de prototypage, en fonction des caractéristiques du prototype à développer.

Mots-clés : VR/Immersion/Présence/Prototypage/UX/storyboard