HAL
open science

Évaluation des facteurs influant la perception des distances et des volumes en environnements virtuels immersifs lors de visites virtuelles de maison

Sabah Boustila, Dominique Bechmann, Antonio Capobianco

To cite this version:

Sabah Boustila, Dominique Bechmann, Antonio Capobianco. Évaluation des facteurs influant la perception des distances et des volumes en environnements virtuels immersifs lors de visites virtuelles de maison. 27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine., Oct 2015, Toulouse, France. pp.a8, 10.1145/2820619.2820627 . hal-01218617

HAL Id: hal-01218617

https://hal.science/hal-01218617v1

Submitted on 21 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Évaluation des Facteurs Influant la Perception des Distances et des Volumes en Environnements Virtuels Immersifs Lors de Visites Virtuelles de Maison

Sabah Boustila
Université de Strasbourg
Strasbourg, France
boustila@unistra.fr

Dominique Bechmann
Université de Strasbourg
Strasbourg, France
bechmann@unistra.fr

Antonio Capobianco
Université de Strasbourg
Strasbourg, France
a.capobianco@unistra.fr

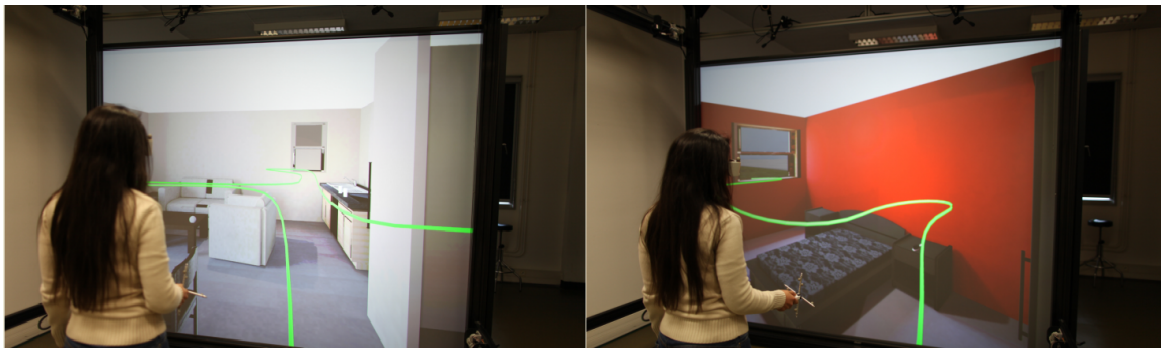

Figure 1. Exemple de visite virtuelle: des positions différentes lors de la visite d'une maison meublée. Le chemin de navigation est représenté en fil d'Ariane en vert.

RÉSUMÉ

La réalité virtuelle (RV) est de plus en plus utilisée comme outil de validation de projets architecturaux. L'un des problèmes majeurs des visites virtuelles immersives, dans ce contexte, est le phénomène bien connu de compression des distances. La plupart des études qui se sont intéressées à ce problème de perception ont porté sur des facteurs liés aux dispositifs d'affichage tels que le champ visuel, la parallaxe, etc. Nous proposons ici une étude portant sur plusieurs facteurs susceptibles d'influencer la perception des distances en RV qui n'ont pas encore fait l'objet d'un travail de recherche approfondi.

Nous présentons les résultats d'une expérience visant à étudier l'impact de trois facteurs sur la perception des distances et des volumes : 1) le profil cognitif 2) l'ameublement des maisons et 3) la vitesse de navigation. Les résultats de l'expérience ont montré que ces trois facteurs influencent la perception des distances et des volumes ainsi que le sentiment d'immersion. Les recommandations suivantes peuvent être mises en avant. Premièrement, une vitesse de navigation lente favorise l'immersion. En outre, elle facilite la tâche d'estimation des distances et conduit à de bonnes estimations. Deuxièmement, les visites virtuelles sont préférables dans des maisons meublées. En effet, elles conduisent à une perception des distances qui est similaire aux cas des maisons non meublées tout en offrant une meilleure compréhension de l'espace.

© ACM, 2015. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution. The definitive version was published in Actes de la 27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, 2015.
http://dx.doi.org/10.1145/2820619.2820627

Mots Clés

Réalité virtuelle ; environnement virtuel immersif ; visite virtuelle ; revue de projet architectural ; estimation des distances ; perception des distances ; profil cognitif.

ACM Classification Keywords

H.5.1. [Information Interfaces and Presentation]: Multimedia Information Systems—*Artificial, augmented, and virtual realities, Evaluation/methodology*

INTRODUCTION

Ces dernières années, la réalité virtuelle (RV) est de plus en plus utilisée dans de nombreux domaines tels que l'éducation, les transports, l'industrie et l'architecture où elle est devenue un élément important dans la phase de développement d'une solution.

Plusieurs études dans le domaine de l'architecture ont utilisé les environnements virtuels immersifs (EVIs) comme outil pour la revue de projet et la validation des maquettes numériques [19, 31, 27]. Les discussions autour de la conception peuvent ainsi se faire dans une situation de visualisation de la maquette à l'échelle 1 :1. La revue de projet peut avoir plusieurs objectifs tels que la validation du choix des matériaux de construction, l'aménagement, la décoration intérieure et l'accessibilité [7, 6].

Pour que l'outil de RV soit fiable, il doit répondre aux besoins des utilisateurs de manière efficace. Dans notre projet, nous voulons introduire la RV dans le processus

de revue de projet architectural pour permettre aux architectes et à leurs clients de voir la maison conçue, avant qu'elle ne soit construite. Le client effectue une visite virtuelle de la maison choisie. Dans ce cadre d'application, l'objectif est de valider le plan de la maison, en termes de taille et d'agencement des pièces, de position des fenêtres, de choix des matériaux en fonction du prix et du budget.

Cette visite virtuelle offre un gain de temps et d'argent important aux architectes. Cependant, l'efficacité des décisions prises dépend de la capacité des visiteurs à porter un jugement sur ce qu'ils voient dans l'environnement virtuel (EV) sans biais par rapport à l'environnement réel correspondant.

Malheureusement, l'un des problèmes majeurs des EVIs est la perception des distances et des volumes. La plupart des travaux portant sur ce phénomène montrent que les distances sont sous-estimées en EV [13, 24]. Ces études n'ont cependant pas permis de déterminer les causes de ce phénomène qui semblent diverses et mal identifiées.

Ce manque de clarté provient de la variabilité des expérimentations entre les différentes études, variabilité liée aux dispositifs d'affichage, aux stimuli visuels utilisés, aux distances à estimer, ainsi qu'aux profils des participants. Par conséquent, les résultats antérieurs ne peuvent pas être généralisés à toutes les configurations expérimentales. Un réglage fin de l'outil virtuel est ainsi recommandé en fonction du contexte et de la tâche [32].

Le but de notre travail est d'identifier et d'étudier les facteurs les plus importants dans le cadre de la conception d'un outil de revue de projet architectural. Pour ce faire, nous avons évalué trois facteurs principaux : le profil cognitif des utilisateurs, l'ameublement des maisons et la vitesse de navigation.

Notre outil de revue de projet est destiné à tout type de personnes. Les utilisateurs peuvent avoir diverses préférences et divers styles d'apprentissage liés à leur profil cognitif. Cette différence entre les individus peut conduire à une variabilité au niveau de la performance lors de la revue de projet (la perception des distances et des volumes). Dans ce travail nous visons l'obtention d'une performance similaire quels que soient les utilisateurs. Notre objectif est donc de proposer des recommandations pour adapter et personnaliser l'outil selon le profil cognitif.

Certains travaux qui visaient à améliorer la perception des distances, indiquent que la présence d'indices visuels tels que des objets familiers peut améliorer la perception des distances absolues [18]. Dans notre contexte, le mobilier peut fournir de tels indices. Ainsi, notre deuxième facteur est l'ameublement des maisons.

Dans le cadre de la revue de projet, le temps de visite virtuelle doit être optimisé. Pour contrôler la durée de la visite, nous avons choisi de fixer la vitesse de navigation. Dans cette étude nous avons comparé trois vitesses de navigation. Nous nous intéressons à leur influence sur la perception des distances et des volumes.

Dans le reste de l'article, nous présentons tout d'abord l'état de l'art sur la perception des distances en EVs. Ensuite, nous introduisons notre méthode et expliquons la procédure suivie lors de l'expérience menée. Les résultats obtenus seront rapportés et discutés dans les sections 4 et 5 respectivement.

ÉTAT DE L'ART

Une difficulté bien connue en RV concerne la perception des distances et des volumes. Si ce problème de perception existe également dans le monde réel [24], il est encore accentué dans les EVs. Ce phénomène de compression des distances a été largement étudié dans la littérature afin d'en identifier les origines et y apporter des solutions. Nous allons aborder certains facteurs potentiels et nous présenterons nos hypothèses concernant l'estimation des distances et des volumes.

Différence entre individus

Plusieurs études ont mentionné des différences possibles entre les individus dans la performance en EV et l'estimation des distances et des volumes. Parmi les facteurs étudiés, nous pouvons mentionner le sexe et l'âge. Par exemple, Interrante et al. [14] et Naceri et Chellali [21] n'ont rapporté aucune différence entre les sexes dans la tâche d'estimation des distances. Au contraire, Arns et Cruz-Neira [2] ont mentionné une différence entre les hommes et les femmes dans la tâche de navigation, où les femmes ont effectué plus de collisions que les hommes. Concernant l'âge, pour l'estimation des distances [20], aucune différence significative n'a été observée entre des personnes adultes âgées de 20 à 35 ans. Cependant dans une autre étude, une différence a été notée entre des enfants âgés de 10 ans et des adultes [24]. Le niveau de présence et le type de personnalité ont également été étudiés dans [23]. Dans ce travail, l'expérimentateur a analysé la corrélation entre la personnalité, la présence et la précision des estimations de distance. Les résultats n'ont montré aucune corrélation significative entre ces trois éléments.

Notre outil de revue de projet est destiné à des utilisateurs adultes mixtes (et non pas des enfants). Selon les résultats précédents, nous avons exclu les différences liées à l'âge et au sexe et nous nous sommes intéressés à un autre facteur de variabilité interindividuelle : le profil cognitif.

La méthode d'apprentissage d'un individu, liée à ses capacités de perception sensorielle, peut influencer la manière d'appréhender l'environnement virtuel d'un individu et donc conduire à des différences dans l'estimation des distances et des volumes. Un questionnaire [5] permet de déterminer le profil cognitif VAK (Visuel, Auditif et Kinesthésique) d'un individu, caractérisé par une préférence de modalité sensorielle : visuelle, auditive ou kinesthésique. Le profil visuel caractérise les personnes qui apprennent par le regard et l'observation. Ces personnes pensent souvent sous forme d'images et apprennent le mieux avec des éléments visuels comme les cartes et les graphiques. Le profil auditif caractérise les personnes qui comprennent et apprennent par l'écoute. Ces personnes réagissent mieux aux discussions et aux situations qui donnent l'occasion de discuter et d'écouter. Le profil kinesthésique caractérise les personnes qui apprennent par le déplacement et l'exécution de tâches. Les situations pratiques d'apprentissage leur conviennent le mieux.

Dans la mesure où le profil cognitif peut créer une différence dans l'estimation des distances entre les individus, nous avons étudié son influence sur la perception des distances et des volumes. Le profil visuel étant le plus sensible aux images et aux informations visuelles, notre première hypothèse est que les participants ayant ce profil auront une bonne estimation des distances et des volumes.

Contexte

Les différences entre les résultats des recherches précédentes peuvent provenir de la variabilité des scènes et du contexte dans lequel ont été réalisées les études [11]. Par exemple, Lappin et al. ont examiné les effets du contexte environnemental sur la perception des distances dans le monde réel [17]. Les résultats ont montré que les distances sont surestimées dans un hall ou une salle, mais pas dans un environnement ouvert extérieur (pelouse). Ce résultat a été justifié par le champ de vision étroit, limité par les murs, dans les environnements d'intérieur. Par ailleurs, la distance entre l'observateur et l'écran, ainsi que la parallaxe, semblent également influencer la perception des distances en EV [3]. Cette étude a révélé un effet asymétrique important de ces deux facteurs sur la perception des distances. Contrairement à cette étude, dans notre expérimentation, la distance entre l'observateur et l'écran a été fixée à 1.5m.

Un autre aspect de l'influence du contexte est le problème cognitif lié à l'interprétation des stimuli visuels. Interrante et al. ont comparé la perception des distances dans un environnement réel et dans sa réplique en EV [14]. Les résultats ont montré que l'utilisation d'une réplique de l'environnement réel comme EV conduit à une bonne estimation des distances. Récemment, dans une autre étude, les participants ont commis plus d'erreurs lors de l'estimation des distances dans un environnement inconnu que dans une réplique de la salle réelle [23].

En outre, la présence de certains indices comme des objets de taille familière peut améliorer la perception des distances absolues. Ces indices peuvent fournir plus d'informations sur l'échelle [18]. Frenz et Lappe [9] ont indiqué que lorsque l'on se déplace dans l'environnement, la perception des distances nécessite des connaissances sur l'échelle de la scène.

Dans notre projet, l'ajout de meubles dans les scènes peut fournir cette information sur l'échelle. Mais, à contrario, l'ameublement intérieur peut influencer la prise de décision des clients. Le risque est qu'ils jugent du plan de la maison en s'appuyant sur le design intérieur utilisé, plutôt que sur les dimensions effectives des différentes pièces.

Dans la cadre de notre projet, il est donc important de connaître l'influence de l'ameublement sur la perception des distances. Pour cette raison, nous avons étudié l'importance de la présence de meubles dans les maisons. Nous avons réalisé notre expérience dans deux conditions : des maisons meublées et des maisons non meublées. Notre seconde hypothèse est que les objets familiers, tels que les chaises, les lits, etc., dans les maisons meublées peuvent aider à améliorer la perception de l'échelle, et ainsi, la perception des distances et des volumes.

Navigation

Nous allons présenter les travaux précédents qui ont étudié la marche et la vitesse de navigation en EVI.

La marche

Lors d'un déplacement, la distance parcourue nous donne des informations sur la taille de l'environnement. Cependant, les dispositifs d'affichage comme les grands écrans ne permettent pas de naviguer en marchant physiquement, contrairement aux Head-Mounted Displays (HMD) ou la vraie vie. En conséquence, certaines informations importantes, susceptibles d'améliorer la perception des distances en EV, sont perdues. Richardson et Waller [25] et Kelly et al. [15] ont démontré que l'information basée sur le corps (proprioceptive et vestibulaire) permet de recalibrer la perception des distances en EV et d'améliorer l'estimation des distances. Waller et Richardson [28] ont prouvé que les informations vestibulaires et proprioceptives sont nécessaires pour donner un effet à la navigation sur l'estimation des distances. Campos et al. [4] se sont intéressés à l'information utilisée pour estimer les distances et ont montré qu'en l'absence d'information proprioceptive, en se déplaçant avec un fauteuil roulant, les sujets se basent sur l'information visuelle plus que sur l'information vestibulaire pour estimer les distances.

Dans notre EV, où la navigation est contrôlée à l'aide d'une *wiimote*, le flux optique (information visuelle) sera utilisé pour l'estimation des distances.

Frenz et al. [10] ont essayé d'améliorer la perception des distances dans le cas de la navigation passive, en ajoutant des informations visuelles à la scène (textures, etc.). Cependant, aucune amélioration n'a été trouvée. Le réglage du flux optique en lui-même, lié à la vitesse, pourrait donc être la raison de la sous-estimation des distances.

La vitesse

Palmisano [22] a prouvé que dans un EV simple avec l'utilisation de la stéréoscopie, la vitesse de déplacement apparaît plus rapide. De ce résultat, il découle que l'utilisation d'une vitesse normale de marche pour la navigation en EV risque de biaiser l'estimation des distances car elle sera perçue comme rapide.

De plus, nous marchons plus doucement dans des endroits fermés (des maisons) que dans un environnement extérieur. Par ailleurs, le contexte de la marche peut aussi faire varier la vitesse de la marche, par exemple la vitesse de marche pour visiter un lieu ou pour se promener n'est pas la même que pour aller travailler. Typiquement, nous marchons moins vite lorsque nous visitons un lieu.

Dans le contexte de revue de projet, et afin de limiter le temps de visite virtuelle, la vitesse de navigation doit être fixe et non pas contrôlée par les utilisateurs. Pour toutes ces raisons nous avons examiné trois vitesses de navigation : une vitesse normale de 1.1 m/s, une vitesse lente de 0.5 m/s et une vitesse dynamique (plus de détails dans la section *Méthode*). Cette dernière a pour objectif d'adapter la vitesse de navigation à l'EV, pour donner un comportement plus naturel. Notre hypothèse est qu'une vitesse

de navigation lente est plus adaptée pour la visite de petits environnements comme les maisons et offre plus de temps pour la compréhension de l'EV, conduisant ainsi à une meilleure estimation des distances et des volumes.

EXPÉRIENCE

Dans notre étude, les participants ont visité des maisons virtuelles et ont été invités à en estimer les dimensions (volumes et distances) et l'habitabilité. Les maisons étaient à l'échelle 1 :1. Nous avons testé trois facteurs : le profil cognitif, l'ameublement des maisons et la vitesse de navigation.

Évaluation

Durant l'expérience, nous avons récolté les informations objectives et subjectives suivantes :

Profil cognitif

Nous avons utilisé le test standard VAK (Visuel, Auditif, Kinesthésique) pour évaluer le style préféré d'apprentissage des participants [5]. Comme nous l'avons indiqué dans l'état de l'art, il nous semble important d'étudier l'impact du profil cognitif sur la perception des distances et des volumes.

Compréhension spatiale

Nous avons évalué la compréhension spatiale en utilisant 1) un questionnaire subjectif (CS1) et 2) une carte cognitive (CS2), voir figure 2.

CS1. Les questions de CS1 donnent des indications sur la fonctionnalité de la pièce (séjour, cuisine, chambre, etc.) ce qui permet de construire la carte cognitive (CS2) sur le plan, même en l'absence de meubles dans les pièces.

Exemple : *Si vous deviez aménager la chambre comme une chambre parentale avec un grand lit double de 140 X 180 cm, deux tables de chevets, que vous placez sur le mur de la fenêtre, vous pensez que l'espace serait : 1) insuffisant, 2), 3), 4), 5), 6), 7) suffisant*.

Le CS1 est un questionnaire divisé en quatre groupes de questions :

- *Estimation des distances :* il a été demandé aux participants d'évaluer plusieurs dimensions : la largeur et la profondeur des pièces, ainsi que la superficie totale de la maison. Afin d'éviter une trop grande sous/sur estimation et garder les dimensions dans un intervalle raisonnable, seuls quatre choix de réponse ont été proposés. Les réponses étaient des valeurs en mètre pour les dimensions des murs et en mètre carré pour la superficie des maisons. Les valeurs proposées dans les choix étaient calculées avec un écart de (+/-)15 % par rapport à la valeur correcte.

  Exemple : *Parmi les propositions suivantes, choisissez les dimensions de la pièce : a) 4.2, b) 4.9, c) 5.6, d) 6.3* m^2.

- *Perception des tailles :* un ensemble de questions portant sur les possibilités d'aménagement des différentes pièces. Les réponses sont données sur une échelle de Likert allant de 1 à 7.

  Exemple : *Si vous deviez placer l'armoire sur le mur de la fenêtre, pensez-vous que l'espace serait : 1) insuffisant ,2), 3), 4), 5), 6), 7) suffisant*.

- *Ressenti et capacité de projection :* un ensemble de questions portant sur la perception de l'habitabilité (appréciation subjective du confort de vie permis par l'habitation). Les réponses sont données sur une échelle de Likert allant de 1 à 7.

  Exemple : *Si vous deviez croiser une personne dans le couloir, vous pensez que l'espace disponible vous permettrait de le faire : 1) difficilement, 2), 3), 4), 5), 6), 7) facilement*.

  Les deux derniers groupes de questions (*Perception des tailles* et *Ressenti et capacité de projection*) ont été élaborés en collaboration avec les architectes participant au projet, qui nous ont fourni les normes de construction à respecter dans l'élaboration de projets d'architecture. Il est par exemple recommandé pour les couloirs une largeur minimale de 90 cm pour pouvoir aisément y croiser une autre personne, en considérant qu'une personne à besoin d'une largeur minimale de 40 cm. Ces normes ont servi de base pour évaluer les réponses données par les participants.

- *Difficulté de la tâche :* le participant juge la difficulté des tâches de visite et d'estimation des distances et des volumes. Cette question est posée à la fin du questionnaire CS1. Les réponses sont données sur une échelle de Likert allant de 1 à 7.

  Exemple : *Évaluez la difficulté pour visiter et estimer les dimensions des pièces : 1) facile, 2), 3), 4), 5), 6), 7) difficile*.

Les participants ont répondu au questionnaire CS1 durant la visite virtuelle (plus de détails dans la section *Procédure*).

CS2. Après chaque visite les participants devaient dessiner le plan de la maison (CS2), en notant la désignation des pièces (séjour, chambre, etc), comme illustré sur la figure 2. Sur ce plan, ils devaient aussi dessiner le chemin de navigation suivi. Le plan de la maison et le chemin de navigation ont été évalués relativement à, 1) la forme des pièces, 2) la précision de l'agencement des pièces, 3) les proportions, 4) la taille et 5) l'ordre de la visite. Par cette tâche nous avons évalué la compréhension de l'espace visité avec une note subjective sur 5, en attribuant un point pour chaque élément cité.

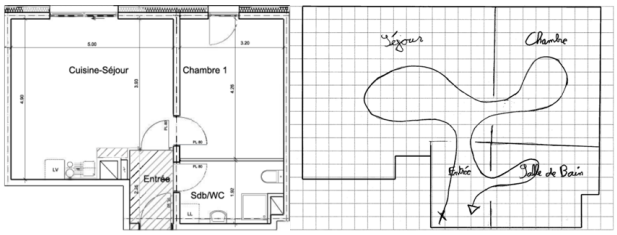

Figure 2. La figure de gauche montre un exemple de plan d'une maison, la figure de droite montre un exemple de la carte cognitive CS2, avec l'agencement des pièces et le chemin de navigation dessiné par un participant.

Questionnaire de présence (QP)
Afin d'évaluer la présence, nous avons utilisé le questionnaire standard de Witmer et Singer [29]. Les participants décrivent l'expérience en EV au travers de 16 questions. Des travaux précédents ont reporté une influence du niveau de présence sur la perception des distances en EV. Nous avons utilisé ce questionnaire afin de vérifier cette relation dans le contexte d'une visite virtuelle de maison.

Questionnaire du mal de simulateur (SSQ)
Nous avons utilisé le questionnaire développé par Kennedy et ses collègues [16] pour évaluer le mal du simulateur. L'objectif de l'utilisation de ce questionnaire est de vérifier si les différentes conditions ont un impact sur le mal du simulateur. Nous avons également étudié l'influence du mal du simulateur sur la perception des distances. Les participants ont répondu au questionnaire SSQ deux fois durant l'expérience ; une fois après la première visite et une deuxième fois après la dernière visite.

Débriefing
Nous avons collecté des informations sur les connaissances métriques des participants (dimension standard des meubles et portes) et la stratégie utilisée pour répondre aux questions de compréhension spatiale lors d'un débriefing semi-guidé à la fin de l'expérience.

Exemple : *1) Avez-vous des connaissances sur la taille standard d'un lit, des portes, etc.*
2) Comment avez-vous donné vos réponses concernant : les dimensions des pièces, la taille des meubles, etc.

Méthode
Dans cette expérience, nous avons utilisé un design intergroupe. Nous avons testé deux environnements : maison meublée et maison non meublée. Dans les maisons meublées nous avons défini trois vitesses, une pour chaque groupe : une vitesse normale de marche, 1.1 m/s, comme indiqué dans les travaux précédents [8], une vitesse lente de marche, 0.55 m/s, qui est la moitié de la vitesse normale [12], et une vitesse dynamique. Pour cette dernière, la vitesse varie entre lente et normale, selon le dégagement de l'espace. En raison de l'absence de meubles dans les maisons non meublées, nous avons utilisé uniquement les vitesses lente et normale pour chaque groupe (voir la table 1 pour plus de détail).

Pour la vitesse dynamique, nous avons mis en place une technique modulant la vitesse en fonction du nombre de meubles qui entourent l'utilisateur et de la distance qui les séparent. Lorsque la visite virtuelle commence, la vitesse est fixée à une vitesse normale (1,1 m/s). Une fois la navigation lancée, si l'utilisateur est entouré de deux objets ou plus, et que ces meubles se trouvent à une distance de 35 cm ou moins de la position de l'utilisateur, alors la vitesse diminue pour atteindre une vitesse lente. Ensuite, plus l'utilisateur s'éloigne des objets (> 35 cm) et se déplace dans un espace dégagé comme dans un couloir, plus la vitesse augmente jusqu'à atteindre une vitesse de marche normale.

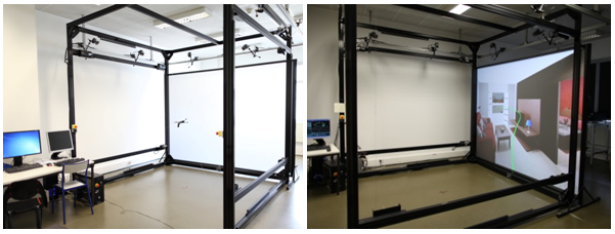

Figure 3. La plateforme (*In Virtuo*). La figure de droite montre un exemple de notre environnement affiché sur le grand écran.

Équipement et stimuli
Tous les tests ont été réalisés sur la plateforme de réalité virtuelle (*In Virtuo*) de notre laboratoire. La salle de réalité virtuelle que nous avons utilisée consiste en un mur immersif de 3 m X 2.25 m avec un affichage stéréoscopique actif. Ce mur immersif offre un champ de vision horizontal de 90° et vertical de 70°. Nous avons utilisé un système de suivi, basé sur 6 caméras pour la capture des mouvements de l'utilisateur, dans un espace de 6 m^2 (voir figure 3). Le système de suivi permet le suivi de la position des lunettes 3D (pour le changement de point de vue) et du dispositif d'interaction *Nintendo Wiimote*. Dans l'EV, la hauteur des yeux (la caméra) est adaptée automatiquement à la hauteur des yeux des participants, grâce au système de suivi. La distance interoculaire a été fixée à 6 cm pour tous les participants.

Notre programme a été développé en C++ et est basé sur la librairie VRJuggler pour la gestion des périphériques.

Nous avons modélisé huit scènes qui correspondent à des plans de maisons réelles ; quatre scènes pour chaque condition. Quatre modèles étaient complètement meublés (lits, canapé, table, chaises, etc.). Pour la condition meublée, deux maisons étaient de type T2, avec des superficies de 45 et 52 m^2, et les deux autres étaient de type T3, avec des superficies de 65 et 58 m^2. Nous avons utilisé quatre maisons non meublées, contenant uniquement des éléments de base comme les toilettes, le lavabo, les portes. Deux maisons étaient de type T2, avec des superficies de 47 et 45 m^2, et les deux autres étaient de type T3, avec des superficies de 76 et 69 m^2. Les scènes virtuelles ont été modélisées en respectant les mesures des plans. Nous avons appliqué des textures simples sur toutes les scènes, pour avoir des environnements réalistes. L'éclairage a été précalculé avec 3DS Max pour éviter la latence.

Les participants
50 participants ont pris part à l'expérience (39 hommes et 11 femmes), 10 par groupe (comme illustré dans la table 1). Les participants étaient des étudiants en informatique de notre université, et étaient tous volontaires. Leur âge allait de 19 à 32 ans, avec une moyenne d'âge de 23 ans, et tous avaient une vision normale ou corrigée. Les participants n'avaient pas d'expérience précédente dans des EVIs.

Conditions, vitesse	Lente	Normale	Dynamique
Meublée	G1	G2	G3
Non meublée	G4	G5	X

Table 1. 5 groupes de participants, un pour chaque condition.

Procédure

Nos tests de perception des distances et des volumes comparent les expériences selon les 5 conditions de visite virtuelle de maison, comme résumé dans la table 1. Dans chaque condition, les participants ont visité 4 maisons différentes. Les sujets ont été affectés aléatoirement à l'une des 5 conditions. La durée des visites virtuelles était d'environ 40 minutes pour les quatre scènes et la durée totale de l'expérience était de 1h20 pour les visites et les questionnaires.

Pré-expérience : avant l'expérience, il a d'abord été demandé aux participants de lire attentivement les consignes qui expliquent le déroulement de l'expérience avec la méthode de navigation et de répondre au questionnaire VAK.

Ensuite, le sujet commence la prise en main ; il effectue une visite virtuelle de maison pendant 5 minutes, afin de se familiariser avec la technique de navigation et le dispositif d'interaction. La visite commence toujours par l'entrée de la maison, comme dans la réalité, puis passe par le séjour, la cuisine, les chambres, et enfin, la salle de bain et les toilettes. Les participants visitent toutes les pièces de la maison. La visite est effectuée avec une navigation guidée, en suivant un chemin prédéfini, représenté dans l'environnement virtuel par un fil d'Ariane vert, comme l'illustre la figure 1. Les sujets utilisent une *wiimote* pour naviguer et ont uniquement la possibilité d'avancer, de s'arrêter, ou de tourner autour d'eux-mêmes. Pour avancer, les sujets utilisent un bouton de la *wiimote* tandis que pour tourner, ils doivent simplement orienter la *wiimote* dans la direction désirée. Avant de commencer l'expérience, l'expérimentateur montre aux participants un mètre ruban d'un mètre de longueur, pendant 10 secondes, pour que chacun ait le minimum de connaissances métriques afin de répondre aux questions.

Expérience : nous avons utilisé une navigation guidée pour s'assurer que les sujets suivent le même chemin et aient à peu près le même temps de navigation. Durant la visite des pièces, et à des endroits bien définis, le sujet entend un bip sonore et se trouve alors bloqué, avec uniquement la possibilité de tourner sur lui-même. À ce moment, l'expérimentateur pose les questions du questionnaire CS1 et note les réponses données par le participant. Une fois les questions traitées, l'expérimentateur débloque le participant afin de visiter la pièce suivante. Après la visite de chaque maison, il a été demandé au participant de réaliser le test CS2 en reproduisant le plan de la maison et le chemin de navigation.

Post-expérience : après la première et la dernière visite, les participants ont répondu au questionnaire SSQ. A la fin de l'expérience, ils ont répondu au questionnaire QP et nous avons procédé au débriefing semi-guidé.

RÉSULTATS

Concernant l'analyse statistique, nous avons dans un premier temps vérifié que nos données remplissaient les conditions de normalité et d'homogénéité des données, en utilisant les tests de Shapiro-Wilk et de Bartlett. Ces conditions étant respectées, nous avons ensuite réalisé une ANOVA multi-factorielle avec un niveau de signification de 0.05. Les variables indépendantes pour cette analyse sont : la vitesse, le profil cognitif (VAK), les conditions d'ameublement. Les variables dépendantes sont : l'estimation des distances, la perception des tailles, le ressenti et la capacité de projection, et la difficulté de la tâche. Nous avons également analysé l'effet de la vitesse, le VAK et la condition d'ameublement sur la présence (QP) et CS2.

Lorsque l'ANOVA multi-factorielle montre une influence significative sur les variables dépendantes, nous réalisons une comparaison paire-à-paire en utilisant le test TukeyHSD (Honestly Significant Differences). Les résultats de l'estimation des distances, la perception des tailles et le ressenti et la capacité de projection, sont reportés systématiquement, même s'il ne sont pas significatifs, pour observer la sous/sur estimation. D'autres résultats ne sont pas présentés dans les tables 2, 3 et 4, si la valeur de p n'est pas significative ($p > 0.05$).

Le résultat du questionnaire VAK a montré que nous avions 18 sujets avec le profil visuel, 15 sujets de profil auditif et 17 sujets de profil kinesthésique.

Estimation des distances

Dans l'analyse des résultats de l'estimation des distances, nous avons calculé l'écart entre la distance correcte et la réponse donnée. L'estimation est parfaite si l'écart est nul, s'il est positif, la distance est surestimée, sinon elle est sous-estimée. Dans toutes les conditions, les valeurs étaient distribuées au dessus de zéro (voir figure 4 (a) et (b)), avec quasiment 50% des valeurs entre 0 et 1, ce qui montre que la surestimation était, en général, de l'ordre de 15% (écart entre les valeurs 0 et 1).

L'analyse montre une influence significative du VAK (voir la table 2 : $F(2, 35) = 6.369$, $p = 0.002$), et de la vitesse (voir la table 4 : $F(2,35) = 4.796$, $p = .009$), sur l'estimation des distances. Toutefois, la condition d'ameublement n'a pas d'influence significative sur l'estimation des distances. Aucune interaction n'a été trouvée entre les facteurs vitesse, VAK et condition d'ameublement.

Les comparaisons paire-à-paire concernant le VAK ont montré que les participants au profil visuel ont été significativement meilleurs que les auditifs ($p = 0.005$) et kinesthésiques ($p = 0.046$), avec moins de surestimation (voir figure 4(a)). Aucune différence significative n'a été trouvée entre les kinesthésiques et les auditifs ($p = 0.78$) (voir la table 2 pour les valeurs moyennes).

De même, les comparaisons paire-à-paire concernant la vitesse révèlent une différence significative entre *normale*

VAK	Estimation de distance	Perception des tailles	Ressenti et capacité de projection	Difficulté de la tâche	QP	CS2
A	0.612	-1.000	-0.907	5.054	4.507	4.151
K	0.569	-1.014	-0.679	4.166	4.275	3.937
V	0.145	-1.996	-1.202	4.883	4.166	3.483
F(2,35)	6.369	2.529	0.119	4.844	9.042	3.35
p	0.002	0.082	0.887	0.009	<0.001	0.037

Table 2. Valeur moyenne, valeurs de F et p qui montrent l'influence du profil VAK : auditif (A), kinesthésique (K) et visuel (V) sur les variables dépendantes, PQ et CS2.

Condition d'ameublement	Estimation de distance	Perception des tailles	Ressenti et capacité de projection	CS2
Meublée	0.411	-1.138	-1.253	4.046
Non meublée	0.474	-1.645	-0.468	3.565
F(1,35)	0.197	1.356	5.721	5.271
p	0.657	0.245	0.018	0.023

Table 3. Valeur moyenne, valeurs de F et p qui montrent l'influence de *la condition d'ameublement* sur les variables dépendantes et CS2.

et *lente* (p = 0.046) et *normale* et *dynamique* (p = 0.021). Aucune différence n'a été trouvée entre les vitesses *lente* et *dynamique* (p = 0.780) comme le montre la figure 4 (b). L'ensemble de la surestimation des distances était significativement moins important avec les vitesses *dynamique* et *lente* comparées à *normale* (voir la table 4 pour les valeurs moyennes).

Perception des tailles et ressenti et capacité de projection

Dans l'analyse des résultats, nous avons calculé la distance entre la réponse correcte et la réponse donnée. Si elle est nulle l'estimation est correcte. Si elle est positive, alors l'évaluation est surestimée, sinon elle est sous-estimée.

Contrairement à l'estimation des distances, les valeurs globales de la perception des tailles, le ressenti et la capacité de projection, révèlent une tendance des sujets à sous-estimer l'habitabilité des maisons comme le montrent les figures 4 (a), (c) et (d) respectivement pour l'estimation des distances, la perception des tailles et le ressenti et la capacité de projection.

Aucune variable n'a d'influence significative sur la perception des tailles. La seule variable indépendante qui a une influence significative sur le ressenti et la capacité de projection est la condition d'ameublement (voir la table 3 : F(1,35) = 5.721, p = 0.018). Les participants ont tendance à moins sous-estimer les volumes avec les environnements non meublés qu'avec les environnements meublés (p = 0.044).

CS2

Concernant CS2, les valeurs mentionnées représentent une note subjective sur une échelle de 5 (5 étant la meilleure note). L'analyse a montré que le VAK et la condition d'ameublement ont une influence significative avec F(2,35) = 3.35, p = 0.037, et F(1,35)= 5.271, p = 0.023, respectivement (voir les tables 2 et 3). La vitesse n'a aucune influence significative sur CS2.

Concernant le profil VAK, les sujets à profil auditif ont un résultat significativement meilleur que les visuels (p = 0.055). Cependant, les comparaisons paire-à-paire n'ont révélé aucune différence significative entre visuel et kinesthésique (p = 0.16) et kinesthésique et auditif (p = 0.85).

Pour la condition d'ameublement, comme résumé dans la table 3, les sujets qui ont visité les maisons meublées ont une note moyenne (4.046/5) meilleure que les sujets qui ont visité les maisons non meublées (3.565/5).

Vitesse	Estimation de distance	Perception des tailles	Ressenti et capacité de projection	Difficulté de la tâche	PQ
Dynamique	0.303	-1.294	-0.604	5.19	4.088
Lente	0.376	-1.514	-1.355	4.48	4.351
Normale	0.575	-1.194	-0.649	4.64	4.387
F(2,35)	4.796	0.351	0.569	5.871	7.190
p	0.009	0.704	0.567	0.003	<0.001

Table 4. Valeur moyenne, valeurs de F et p qui montrent l'influence de la vitesse sur les variables dépendantes et QP.

Difficulté de la tâche

En moyenne, la difficulté de la tâche a été estimée comme étant relativement élevée, avec une valeur globale moyenne de 4.77 sur une échelle de 7.

Les résultats ont montré que le VAK (table 2 : F(2,35) = 4.844, p = 0.009), et la vitesse (table 4 : F(2, 35) = 5.871, p = 0.003)), avaient une influence significative sur l'estimation subjective de la difficulté de la tâche. Cependant, la condition d'ameublement n'a aucune influence. Contrairement à nos attentes, avoir des meubles dans la maison n'a pas été perçu par les participants comme un élément aidant pour l'estimation des distances.

Pour le profil VAK, les comparaisons paire-à-paire ont montré que les participants avec un profil visuel (p = 0.020) ou auditif (p = 0.042) ont évalué *la difficulté de la tâche* comme étant plus difficile que ceux au profil kinesthésique. La différence entre les visuels et les auditifs n'est pas significative (p = 0.988).

L'utilisation de la vitesse dynamique augmente la difficulté de la tâche. Les comparaisons paire-à-paire ont montré une différence significative entre les vitesses dynamique et lente (p = 0.004), et dynamique et normale (p = 0.033). Cependant, la différence entre les vitesses lente et normale n'est pas significative (p = 0.732).

SSQ et QP

Aucune variable indépendante n'a d'influence significative sur le SSQ. L'évaluation globale du mal du simulateur était faible tout au long des tests, avec une valeur moyenne de 1.85/4 (avec 4 SSQ élevé), pour le résultat du second test SSQ.

Concernant le niveau d'immersion (QP), les valeurs mentionnées sont une note sur une échelle de 7 (7 signifie bien immergé). La condition d'ameublement n'a pas d'influence significative sur l'immersion. Au contraire, le VAK (F(2,35) = 9.042, p < 0.001), et la vitesse (F(2,35) = 5.871, p = 0.003), ont une influence significative (voir les tables 2 et 4 respectivement).

Les comparaisons paire-à-paire du VAK ont montré que le niveau d'immersion atteint par les participants visuels et kinesthésiques était significativement plus faible (p = 0.02 and p = 0.053, respectivement) que celui des auditifs. Aucune différence n'a été trouvée entre visuels et kinesthésiques (p = 0.936). Le niveau d'immersion atteint par les participants est significativement moindre avec la vitesse dynamique qu'avec les vitesses lente (p = 0.015) et normale (p = 0.012). Aucune différence n'a été trouvée entre les vitesses lente et normale (p = 0.992).

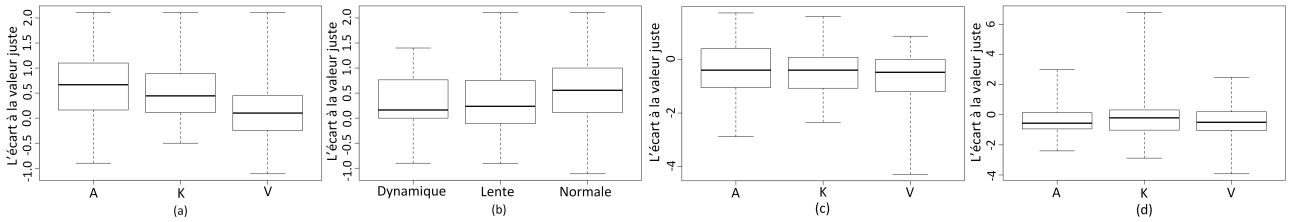

Figure 4. Boites à moustache : (a) représente l'estimation de distance en fonction du profil cognitif VAK, (b) représente l'estimation de distance en fonction de la vitesse, (c) représente la perception des tailles en fonction du profil cognitif VAK, (d) représente le ressenti et la capacité de projection en fonction du profil cognitif VAK. Pour toutes les boites à moustache, l'axe y représente l'écart à la valeur juste.

DISCUSSION

Compréhension spatiale

Les résultats montrent que l'estimation des distances et des volumes est différente selon les questions. Avec l'*estimation des distances*, les distances étaient surestimées, alors qu'avec la *perception des tailles* et le *ressenti et la capacité de projection*, les distances et les volumes étaient sous-estimés. Plusieurs interprétations sont possibles.

Ce résultat est conforme aux travaux précédents qui ont révélé que l'estimation des distances et la précision dépendent de la méthode d'évaluation utilisée, et notamment la manière dont les participants expriment la distance perçue [25, 11]. Dans notre expérimentation, pour l'*estimation des distances*, les participants ont choisi une réponse parmi quatre pour estimer la taille des pièces, tandis que pour la *perception des tailles* et le *ressenti et la capacité de projection*, les participants devaient imaginer les situations. Puis, en se basant sur la distance perçue, ils donnaient une réponse. Cette différence dans la manière d'interpréter la distance perçue a pu générer la différence d'estimation observée entre les méthodes.

De plus, la différence entre les questions, en termes de précision, peut être liée à la stratégie utilisée pour répondre aux questions. La stratégie utilisée par les participants pour estimer les distances et les volumes n'était pas la même entre une quantification (*estimation de distance*) et une projection en EV (*perception des tailles*, *ressenti et capacité de projection*). Nous avons confirmé ceci par le résultat du débriefing. La majorité des participants ont avoué utiliser une stratégie de calcul pour l'*estimation de distance*. Ainsi, ils ont essayé d'imaginer un segment d'un mètre, ou un segment équivalent à leur taille le long des murs, et puis ils ont calculé le nombre d'unités. Contrairement à l'*estimation des distances*, pour la *perception des tailles* et le *ressenti et la capacité de projection*, les participants ont indiqué se projeter dans l'EV et essayer d'imaginer les situations demandées pour donner les réponses.

Dans le cas des maisons meublées, la condition d'ameublement n'a pas une influence significative sur l'*estimation de distance*, contrairement à notre hypothèse. Ceci peut s'expliquer par la stratégie de calcul des participants qui est basée sur la longueur d'un mètre, ou la taille des participants, et pas sur la taille des meubles présents dans la scène.

Une autre raison possible pour cette différence dans l'estimation peut être le dispositif d'affichage utilisé. Durant le débriefing, plusieurs participants ont signalé l'absence de projection sur le sol. Nous avons utilisé un grand écran sans projection sur le sol, ce qui peut créer un problème de visibilité. Le participant, face à l'écran, ne peut pas voir la partie de la scène qui se trouve entre lui et l'écran. Spécifiquement, pour l'*estimation des distances*, le participant peut tourner pour voir la taille des murs ou des objets pour estimer leur taille. Alors que pour la *perception des tailles* et le *ressenti et la capacité de projection*, le participant se déplace dans les pièces mais n'arrive pas à voir la totalité du volume de la pièce, à cause de l'absence de projection sur le sol, et par conséquent sous-estime les volumes.

Notre résultat de surestimation pour l'*estimation de distance* est conforme avec le travail précédent [32] qui avait utilisé une configuration matérielle similaire. Dans cette étude, les dimensions des pièces dans les maisons, largeur et profondeur, ont été également surestimées avec un affichage sur un grand écran.

Profil cognitif

Concernant le profil cognitif, les personnes avec le profil visuel préfèrent les représentations visuelles et les images, pour comprendre et apprendre. Lors du débriefing, les participants ont déclaré avoir utilisé une stratégie de calcul pour l'*estimation des distances*. Calculer les distances, en se basant sur les informations visuelles, a facilité la tâche pour les participants au profil visuel. Ils ont été plus précis que ceux aux profils auditif et kinesthésique, ce qui confirme notre première hypothèse. Par contre, durant les visites virtuelles, les participants avec le profil visuel se sont appuyés sur les informations visuelles présentes dans la scène et, comme les couleurs et les textures en EV ne sont pas pleinement réalistes, et que les participants avec le profil visuel sont plus sensibles à cette différence entre les environnements réel et virtuel, ils ont trouvé la visite virtuelle plus difficile, et en conséquence, ils étaient moins immergés que les participants à profils auditif et kinesthésique.

Les personnes à profil kinesthésique apprennent en se déplaçant et en réalisant des tâches. Dans notre expérimentation, les résultats ont montré que les participants à profil kinesthésique ont trouvé la tâche de visite virtuelle plus facile que ceux aux profils auditif et visuel. Explorer et naviguer en EV semble les avoir aidés et leur avoir facilité la tâche. De plus, les participants à profil kinesthésique ont obtenu un bon résultat en CS2. La navigation semble

les avoir aidés à construire une carte cognitive plus précise de l'environnement. Cependant, comme les participants à profil kinesthésique comprennent en bougeant et en réalisant des tâches, l'absence de marche physique (pour la navigation) ne leur a pas permis d'être bien immergés en EV. De même, la navigation passive ne leur a pas fourni assez d'informations pour estimer les distances. Par conséquent, ils étaient moins précis en *estimation des distances*.

Les personnes à profil auditif sont plus sensibles aux informations auditives. Même en l'absence des instructions verbales et de son durant les visites virtuelles, les participants à profil auditif ont été bien immergés comparés aux autres profils, d'autant qu'ils sont plus sensible aux informations auditives que visuelles et tactiles. En d'autres termes, même si les couleurs, les textures et la navigation passive, ne sont pas semblables à la réalité, les participants à profil auditif acceptent cette différence et se projettent facilement en EV. De plus, leur sentiment de présence les a probablement aidés à comprendre l'environnement et à construire une carte cognitive (CS2) précise de l'EV, comme le montrent les résultats.

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature de travaux qui ont étudié l'influence du profil cognitif sur la performance en EV, ce qui nous a empêché de faire des comparaisons avec nos résultats. Comme nous l'avions supposé, le profil cognitif a plusieurs impacts sur la performance lors des visites virtuelles. Par conséquent, ce facteur peut être un sujet important pour des futurs travaux.

Vitesse et conditions d'ameublement

Le niveau d'immersion a été influencé par la vitesse de navigation. Les participants avec la vitesse dynamique étaient moins immergés que les participants avec les vitesses lente et normale. Lors du débriefing, les participants ont indiqué que la transition entre la vitesse normale et lente était un peu brutale. Par conséquent, ils étaient moins bien immergés. Toutefois, dans la mesure où l'*estimation des distances* était moins surestimée avec la vitesse dynamique, des améliorations telles que l'utilisation d'un algorithme d'adaptation de la vitesse à l'environnement, comme celui de [1], pourrait améliorer l'efficacité de la vitesse dynamique lors des visites virtuelles.

Nous avons testé deux types d'environnements pour examiner l'importance de l'ameublement dans les scènes. Comme nous l'avons supposé, les participants dans les maisons meublées ont une meilleure compréhension spatiale que les participants dans les maisons non meublées. Le score de la CS2 est meilleur dans la condition meublée. Ce résultat confirme l'hypothèse que l'environnement meublé améliore la compréhension spatiale. La présence de meubles donne une signification aux différentes pièces de la maison (séjour, chambre, etc.) et aide à se rappeler de l'environnement après la visite virtuelle. Néanmoins, les participants dans les maisons meublées sous-estiment plus les volumes et l'habitabilité. Une raison probable pour ce résultat peut être liée à notre dispositif d'affichage qui n'offre pas de projection sur le sol. Spécifiquement, la surface autour des pieds est invisible. Plusieurs participants ont évoqué ce manque de projection lors du débriefing. Il est probable que dans la condition meublée, les participants aient trouvé l'environnement encombré, d'autant qu'ils n'arrivaient pas à voir la totalité du volume sur l'écran, et par conséquent qu'ils aient considéré que l'espace était plus petit.

Plusieurs travaux précédents ont évoqué l'importance de la visibilité du sol dans l'estimation des distances en environnements réels. Les travaux de [30] ont trouvé une sous-estimation des distances pour les distances entre 4 et 7 m, uniquement lorsque la partie proche du sol, jusqu'à 2.55 m, n'était pas visible. En outre, d'après l'expérience menée dans [26], une altération de l'évaluation des distances a été trouvée lorsque l'observateur se trouvait sur une texture différente à celle où la cible a été placée, de même, lorsqu'un trou séparait l'observateur et la cible.

Sur la base de notre étude, nous proposons les recommandations suivantes pour les outils de revue de projet :
1) Une vitesse de navigation lente à 0.5 m/s est adaptée aux visites virtuelles en environnement architectural. Cette dernière offre la même performance que la vitesse dynamique et est meilleure que la vitesse normale pour la perception de distance. En outre, elle facilite la tâche d'estimation des distances et conduit à une bonne estimation. Elle offre également un bon niveau d'immersion.
2) Les maisons meublées semblent meilleures pour une bonne compréhension de l'espace et du plan des maisons. En outre, elles offrent une perception des distances et des tailles similaire à celle en environnement non meublé. Cependant, la perception de l'habitabilité (le volume de la pièce) reste à améliorer et nécessite d'être examinée dans de futurs travaux, dans la mesure où elle peut être liée au dispositif d'affichage utilisé.

CONCLUSION ET FUTURS TRAVAUX

Cet article présente une expérience qui évalue, selon plusieurs critères, les visites virtuelles dans des environnements architecturaux (scènes d'intérieurs). L'objectif était d'identifier et souligner les facteurs qui affectent les visites virtuelles, notamment, la perception des distances et des volumes. Nous avons identifié et étudié trois facteurs : le profil cognitif, l'ameublement des maisons et la vitesse de navigation.

Conformément aux études précédentes, nos résultats montrent une différence dans la précision entre les questions métriques (estimation des distances) et les questions qui nécessitent une projection dans l'environnement virtuel (habitabilité). Les distances sont surestimées lorsqu'elles sont estimées avec une unité métrique et sous-estimées lorsque l'on juge de l'habitabilité. En outre, les stratégies utilisées et le profil cognitif ont une influence sur la perception des distances et des volumes et semblent avoir un impact important sur les visites virtuelles en général. Par conséquent, le profil cognitif serait un sujet important pour de futurs travaux.

Dans de futurs travaux, pour améliorer les visites virtuelles et la perception des distances et des volumes, nous pensons qu'il serait pertinent d'examiner l'effet d'ajout d'indices selon le profil cognitif. Ainsi, nous suggérons d'étudier :
1) pour le profil visuel, l'amélioration du niveau d'immersion et la comparaison de plusieurs niveaux de réalisme

des scènes.
2) pour le profil kinesthésique, l'ajout de tâches à réaliser.
3) pour le profil auditif, l'ajout du son des pas de marche qui pourrait améliorer la précision de l'estimation des distances.

À travers cette étude, nous avons cherché à trouver des réglages appropriés pour notre outil de revue de projet. De nos résultats il ressort que l'ameublement des maisons est important et aide à mieux comprendre le plan des maisons. De plus, une vitesse de navigation lente de 0.5 m/s aide à la perception des distances et des volumes et conduit à moins surestimer les distances. En outre, elle offre une bonne immersion.

La sous/sur estimation peut être liée à la stratégie utilisée, ou au manque de visibilité du sol autour de l'observateur avec notre dispositif d'affichage (projection uniquement sur un grand écran). Pour éclaircir ce phénomène nous allons examiner, dans un futur travail, si la résolution de ce manque de projection sur le sol conduit à plus de précision dans l'estimation des distances et des volumes.

BIBLIOGRAPHIE

1. Argelaguet, F. Adaptive navigation in virtual environments. In *IEEE Symposium on 3D User Interfaces* (2014).
2. Arns, L., and Cruz-Neira, C. Effects of physical and virtual rotations and display device on users of an architectural walkthrough. In *Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry*, ACM (2004), 104–111.
3. Bruder, G., Argelaguet Sanz, F., Olivier, A.-H., and Lécuyer, A. Distance Estimation in Large Immersive Projection Systems, Revisited. In *IEEE Virtual Reality* (Arles, France, Mar. 2015).
4. Campos, J., Butler, J., and Bülthoff, H. Multisensory integration in the estimation of walked distances. *Experimental Brain Research 218*, 4 (2012), 551–565.
5. Chislett, V., and Chapman, A. Vak learning styles self-assessment questionnaire, 2005.
6. Drettakis, G., Roussou, M., Reche, A., and Tsingos, N. Design and evaluation of a real-world virtual environment for architecture and urban planning. *Presence: Teleoper. Virtual Environ. 16*, 3 (2007), 318–332.
7. Dunston, P., Arns, L., Mcglothlin, J., Lasker, G., and Kushner, A. An immersive virtual reality mock-up for design review of hospital rooms. *7th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality* (2007), 22–23.
8. Fink, P. W., Foo, P. S., and Warren, W. H. Obstacle avoidance during walking in real and virtual environments. *ACM Trans. Appl. Percept. 4*, 1 (2007).
9. Frenz, H., and Lappe, M. Absolute travel distance from optic flow. *Vision Research 45*, 13 (2005), 1679 – 1692.
10. Frenz, H., Lappe, M., Kolesnik, M., and Bührmann, T. Estimation of travel distance from visual motion in virtual environments. *ACM Trans. Appl. Percept. 4*, 1 (2007).
11. Grechkin, T. Y., Nguyen, T. D., Plumert, J. M., Cremer, J. F., and Kearney, J. K. How does presentation method and measurement protocol affect distance estimation in real and virtual environments? *ACM Trans. Appl. Percept. 7*, 4 (2010), 26:1–26:18.
12. Guan, Y., and Li, C.-T. A robust speed-invariant gait recognition system for walker and runner identification. In *in Proc. the 6th IAPR International Conference on Biometrics (ICB'13)*,, IAPR (2013), 1–8.
13. Henry, D., and Furness, T. Spatial perception in virtual environments: Evaluating an architectural application. In *Proceedings of the 1993 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, VRAIS '93, IEEE Computer Society (1993), 33–40.
14. Interrante, V., Ries, B., and Anderson, L. Distance perception in immersive virtual environments, revisited. In *Virtual Reality Conference, 2006*, IEEE Computer Society (2006), 3–10.
15. Kelly, J. W., Hammel, W. W., Siegel, Z. D., and Sjolund, L. A. Recalibration of perceived distance in virtual environments occurs rapidly and transfers asymmetrically across scale. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 20*, 4 (2014), 588–595.
16. Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., and Lilienthal, M. G. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology 3*, 3 (1993), 203–220.
17. Lappin, J., Shelton, A., and Rieser, J. Environmental context influences visually perceived distance. *Perception and Psychophysics 68*, 4 (2006), 571–581.
18. Loomis, J., and Knapp, J. Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments. *Virtual and Adaptive Environments: Applications, Implications, and Human Performance Issues* (2003).
19. Majumdar, T., Fischer, M. A., and Schwegler, B. R. Conceptual design review with a virtual reality mock-up model. *Building on IT: Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering 17*, 3 (2006), 2902–2911.
20. Murgia, A., and Sharkey, P. Estimation of distances in virtual environments using size constancy. *International Journal of Virtual Reality 8*, 1 (2009), 67–74.
21. Naceri, A., and Chellali, R. The effect of isolated disparity on depth perception in real and virtual environments. In *Virtual Reality Short Papers and Posters (VRW), 2012 IEEE* (2012), 107–108.
22. Palmisano, S. Consistent stereoscopic information increases the perceived speed of vection in depth. *Perception 31* (2002), 463–480.
23. Phillips, L., Interrante, V., Kaeding, M., Ries, B., and Anderson, L. Correlations between physiological response, gait, personality, and presence in immersive virtual environments. *Presence: Teleoper. Virtual Environ. 21*, 2 (2012), 119–141.
24. Plumert, J. M., Kearney, J. K., Cremer, J. F., and Recker, K. Distance perception in real and virtual environments. *ACM Trans. Appl. Percept. 2*, 3 (2005), 216–233.
25. Richardson, A. R., and Waller, D. Interaction with an immersive virtual environment corrects users' distance estimates. *Human Factors 49*, 3 (2007), 507–517.
26. Sinai, M. J., Ooi, T. L., and He, Z. J. Terrain influences the accurate judgement of distance. *Nature 395* (1998), 497–500.
27. Wahlström, M., Aittala, M., Kotilainen, H., Yli-Karhu, T., Porkka, J., and Nykänen, E. Cave for collaborative patient room design: analysis with end-user opinion contrasting method. *Virtual Reality 14*, 3 (2010), 197–211.
28. Waller, D., and RICHARDSON, A. R. Correcting distance estimates by interacting with immersive virtual environments: Effects of task and available sensory information. *Journal of Experimental Psychology: Applied 14*, 1 (2008), 61–72.
29. Witmer, B. G., and Singer, M. J. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoper. Virtual Environ. 7*, 3 (1998), 225–240.
30. Wu, B., Ooi, T. L., and He, Z. J. Perceiving distance accurately by a directional process of integrating ground information. *Nature 428* (2004), 73–77.
31. Yerrapathruni, S., Messner, J., Baratta, A., and Horman, M. Using 4d cad and immersive virtual environments to improve construction planning. *Conference on Construction Applications of Virtual Reality* (2003), 179–192.
32. Zikic, N. *Evaluating Relative Impact of VR Components Screen size, Stereoscopy and Field of View on Spatial Comprehension and Presence in Architecture*. PhD thesis, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, 2007.