



Master Systèmes Dynamiques et Signaux

Mémoire

Conception et développement d'un environnement virtuel pour l'étude de processus anticipatoires : Application à la conduite automobile

Auteurs :

M. Lucas PERCEREAU

Encadrants :

M. Paul RICHARD

Mme. Emmanuelle

MENÉTRIER

Jury :

Pr. Laurent HARDOUIN

Pr. Laurent AUTRIQUE

Pr. Bruno CASTANIER

Pr. Anne HEURTIER

Pr. Laetitia PEREZ

Pr. Paul RICHARD

Version du
1^{er} juillet 2021

Remerciements

Pour ces remerciements, j'aimerais commencer par mes encadrants : Paul Richard et Emmanuelle Menetrier. Ils m'ont aidé tout au long de l'année en me proposant des articles à lire, en m'aidant dans la compréhension lorsque c'était nécessaire et en m'aidant dans l'écriture de ce rapport. Je les remercie pour le temps qu'ils m'ont accordé.

J'aimerais remercier Florian Focone, manager du Userlab, qui m'a aidé dans l'intégration du capteur de suivi du regard.

Bien entendu, je remercie aussi les 17 participants qui ont accepté de donner de leur temps pour prendre part à mon expérience.

J'aimerais aussi remercier toutes les personnes qui ont œuvré à la recherche de participants notamment en relayant mon message et mon affiche d'information. Finalement, j'aimerais remercier toutes les personnes participant à l'organisation du Master SDS, enseignants comme personnels, qui ont permis de rendre ce dernier possible.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 1 |
| 1 Les simulateurs de conduite et le sentiment de présence | 3 |
| 2 L’extension des limites : un phénomène anticipatoire | 7 |
| 2.1 Découverte du phénomène | 7 |
| 2.2 Caractéristiques du phénomène d’extension des limites | 8 |
| 2.2.1 Un effet robuste mais modulable | 8 |
| 2.2.2 L’impact de l’expertise sur l’extension des limites | 9 |
| 2.2.3 Extension des limites et extrapolation du mouvement : un seul et même phénomène? | 10 |
| 3 Travaux réalisés | 11 |
| 3.1 Présentation de l’environnement virtuel | 11 |
| 3.2 Travaux préliminaires | 12 |
| 3.2.1 Premier semestre | 12 |
| 3.2.2 Second semestre | 13 |
| 3.3 Objectifs fixés pour le stage | 15 |
| 3.4 Réalisation de l’expérience | 17 |
| 3.4.1 Population | 17 |
| 3.4.2 Matériel | 17 |
| 3.4.3 Procédure | 18 |
| 3.5 Récupération des données | 18 |
| 4 Résultats | 19 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1 | Traitement des données | 19 |
| 4.1.1 | Les données de la tâche visuelle | 20 |
| 4.1.2 | Les données oculométriques | 21 |
| 4.2 | Analyse | 26 |
| 4.2.1 | Analyse des résultats de la tâche visuelle | 26 |
| 4.2.2 | Interprétation des données oculométriques | 29 |
| 4.2.3 | Perspectives | 30 |
| | Conclusion | 33 |
| 5 | Annexes | 35 |

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | le Cube AIP (autonomy, interaction, presence) proposé par David Zeltzer (1991). | 3 |
| 3.1 | Parcours du véhicule | 14 |
| 3.2 | Parcours du véhicule lors de l'entraînement | 15 |
| 4.1 | Données traitées issues de la tâche visuelle | 20 |
| 4.2 | Données oculométriques issues d'une simulation | 21 |
| 4.3 | Calque provisoire du participant 8 sur les deux secondes précédant la première interruption | 22 |
| 4.4 | Capture de la première interruption dans le cas de l'environnement à faible charge perceptive | 23 |
| 4.5 | Carte de chaleur complète | 24 |
| 4.6 | Carte de chaleur des participants du groupe "Faible charge perceptive" (première interruption) | 24 |
| 4.7 | Carte de chaleur des participants du groupe "Forte charge perceptive" (première interruption) | 25 |
| 4.8 | Carte de chaleur de tous les participants (première interruption) | 25 |
| 4.9 | Moyenne de dispersion de chaque participant (charge forte) pour chaque interruption (valeur manquante liée à un problème technique du capteur) | 26 |
| 4.10 | Scores moyens d'extension des limites observés pour nos deux groupes dans le cas d'essais "identiques". | 27 |
| 4.11 | Essai N.11 groupe "charge forte" | 29 |
| 4.12 | Essai N.11 groupe "charge faible" | 29 |
| 5.1 | Menu de l'application | 35 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.2 | Point de vue du conducteur (conduite) | 36 |
| 5.3 | Point de vue externe | 36 |
| 5.4 | Point de vue du conducteur (tâche visuelle) | 37 |
| 5.5 | Point de vue externe pipeline HDRP | 37 |
| 5.6 | Point de vue du conducteur de nuit (conduite) | 38 |
| 5.7 | Point de vue externe de nuit | 38 |

Introduction

En parallèle à ma 5ème année de cursus ingénieur à Polytech Angers, j'ai eu l'occasion de réaliser un master recherche « Systèmes Dynamiques et signaux ». Dans le cadre de ce master recherche, j'ai travaillé sur la conception et le développement d'une simulation permettant d'étudier des phénomènes anticipatoires impliqués dans la perception de scènes visuelles et, en particulier, celui connu en psychologie sous le nom d' « extension des limites » (Intraub and Richardson, 1989 [10]).

Ce travail transversal s'inscrit dans le cadre de l'étude de la perception et de l'interaction en environnement virtuel. L'objectif étant la modélisation, le développement et l'optimisation de tels environnements utilisés comme outils de recherche dans différents domaines d'application. L'angle d'approche proposé ici est relativement novateur car peu étudié en situation dynamique. Le domaine d'application choisi est celui de la conduite automobile.

Je suis encadré, dans cette étude, par deux enseignants-chercheurs : Monsieur Paul Richard, Maître de Conférences en réalité virtuelle et Madame Emmanuelle Ménétrier, Maître de Conférences en psychologie cognitive à l'université d'Angers. Cette année de Master recherche est organisée en deux semestres, le premier est consacré à une étude bibliographique du sujet et le second à une partie expérimentale. Le stage du second semestre a été réalisé au Laboratoire LARIS ainsi qu'au UserLab créé en janvier 2021 par l'Université d'Angers.

Au cours de ce premier semestre, j'ai tout d'abord travaillé sur un projet de simulateur de conduite initié en 2015 par Paul Richard et Emmanuelle Ménétrier dans le cadre du projet de recherche PERCEIVE (Perception et interaction en environnement virtuel). Après avoir pris connaissance du projet, je me suis lancé dans une recherche bibliographique concernant les simulateurs de conduite existants et les facteurs influençant l'immersion. Ensuite, je me suis consacré à l'étude bibliographique du phénomène psychologique d' « extension des limites ». Ces documents m'ont permis d'apprendre à connaître le phénomène et ainsi de préparer la phase expérimentale qui s'est déroulée au second semestre, phase durant laquelle le simulateur de conduite a été utilisé. J'ai apporté plusieurs modifications à ce simulateur d'une part pour répondre aux besoins de l'expérimentation et d'autre part pour rendre ce dernier plus réaliste et performant. Ces modifications seront détaillées dans ce rapport. Au cours du second semestre, j'ai poursuivi mon travail de développement de

l'environnement virtuel et j'ai lancé la phase expérimentale puis traité les données obtenues.

Le travail que je réalise sur le phénomène d'extension des limites a pour objectif de faire avancer les connaissances actuelles du phénomène dans le contexte de la conduite automobile. En effet, c'est une question qui a déjà été abordée plusieurs fois dans la littérature mais jamais dans le cas d'une conduite en condition réelle, ni dans le cas d'un simulateur de conduite.

Ainsi, dans ce rapport, je commencerais par présenter mes recherches bibliographiques. J'évoquerai le « sentiment de présence », un concept que l'on retrouve habituellement en réalité virtuelle mais qui s'applique aussi aux simulateurs de conduite. En seconde partie de ce rapport, je présenterai le phénomène d'extension des limites, plus précisément ses principales caractéristiques, au travers de divers articles traitant du sujet ces dernières décennies. La troisième partie de ce rapport traitera des travaux que j'ai réalisés au cours des premier et second semestres. Elle présentera non seulement l'environnement virtuel ainsi que la tâche visuelle, mais aussi les objectifs fixés à l'issue du premier semestre puis l'expérience telle qu'elle a réellement été réalisée. La dernière partie de ce rapport sera consacrée au traitement des données récupérées à l'issue de la phase expérimentale du second semestre. Elle présentera les résultats obtenus et les conclusions que l'on peut en tirer.

Chapitre 1

Les simulateurs de conduite et le sentiment de présence

L'immersion et le sentiment de présence sont deux notions couramment traitées dans la littérature consacrée aux environnements virtuels. L'immersion est souvent considérée comme la part objective du sentiment de présence (fig. 1.1). Le sentiment de présence est défini comme la sensation d'être physiquement présent dans un environnement immersif. Trois composantes (Zeltze, 1991 [18]) lui sont associées, dont deux que l'on retrouve particulièrement dans un environnement virtuel dédié à la simulation : l'immersion et l'interaction.

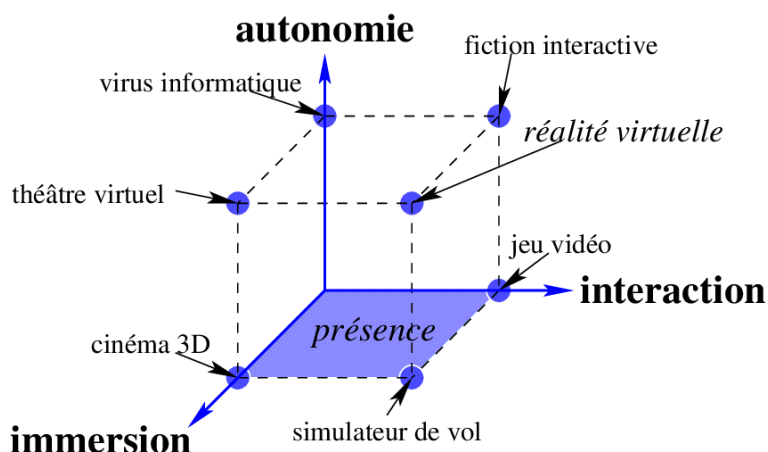


FIGURE 1.1 – le Cube AIP (autonomy, interaction, presence) proposé par David Zeltzer (1991).

Puisque l'objectif de l'environnement virtuel que nous développons est de reproduire d'une façon la plus réaliste possible la conduite automobile en condition réelle, nous nous intéresserons ici aux facteurs du sentiment de présence couramment utilisés dans les simula-

teurs de conduite. C'est-à-dire les facteurs liés à l'immersion et l'interaction (voir Bouvier, 2009 [3]).

Pour commencer, le premier facteur que je souhaite aborder est celui de la technologie. En effet, l'immersion au sein des environnements virtuels est largement meilleure aujourd'hui qu'elle ne l'était il y a dix ans. On peut alors décomposer ce facteur en deux : les logiciels et le matériel. Concernant les logiciels, nous parlerons particulièrement du cas de Unity3D puisque c'est celui qui est utilisé pour le développement de notre environnement virtuel. Unity3D a fortement évolué ces dix dernières années, il permet aujourd'hui de réaliser des programmes bien plus fluides et plus performants, et permet ainsi d'offrir un environnement plus immersif et interactif à l'utilisateur. Concernant le matériel, il est ici question des performances des ordinateurs mais aussi de la qualité des écrans ou des autres appareils permettant l'affichage de l'environnement virtuel. Le confort, le contraste, la gamme de couleurs ou encore la résolution des écrans se sont fortement améliorés ces dernières années, offrant alors un meilleur réalisme et une meilleure immersion à l'utilisateur pour ce qui concerne les casques de réalité virtuelle. Ainsi, pour réaliser une simulation proche de la réalité, le choix du matériel est un facteur important.

Ensuite, le facteur que je souhaite aborder est celui des sens. En effet, il est communément considéré que les sens jouent un rôle extrêmement important dans l'immersion d'un utilisateur. Bien entendu, il est possible de travailler sur les cinq sens, mais par souci de simplicité et d'accessibilité, trois d'entre eux sont communément utilisés dans les environnements virtuels : la vue, l'ouïe et l'haptique (sens du toucher qui intègre la notion de retour d'effort). Ainsi, un environnement virtuel dans lequel ces trois sens sont exploités sera bien plus immersif. Dans le cas particulier d'un simulateur de conduite, la vue et l'ouïe sont deux sens qui seront forcément exploités au travers de l'écran et du son. L'haptique lui, est un sens moins évident à exploiter. C'est pourquoi il est commun dans un simulateur d'utiliser un volant qui permet à l'utilisateur de se déplacer dans l'environnement virtuel (paradigme plus écologique).

Le troisième facteur que je souhaite évoquer est le contenu de l'environnement virtuel. Naturellement, pour plonger un utilisateur dans un environnement virtuel et obtenir la meilleure immersion possible, il faut travailler sur la qualité et le réalisme dudit environnement. Cela commence par la qualité des modèles utilisés dans l'environnement virtuel, mais il s'agit aussi de la cohérence des modèles que l'on souhaite reproduire. Dans le cas de notre environnement, il est destiné à simuler une conduite en environnement urbain. Les modèles des routes, des bâtiments, des panneaux ou encore de la voiture ont été réalisés afin de procurer un sentiment de réalisme. L'objectif étant de s'assurer que l'utilisateur trouve l'environnement cohérent et réaliste afin de simuler du mieux possible des conditions réelles de conduite.

Un autre facteur important est celui de l'éclairage. Au sein d'un environnement virtuel, l'éclairage et les lumières sont des facteurs très importants du réalisme de l'environnement.

Il n'est pas forcément aisé de reproduire un éclairage réaliste mais puisque des ombres ou des reflets incohérents pourraient nuire à l'immersion de l'utilisateur, il est capital de s'assurer que notre environnement est éclairé avec cohérence selon une heure de la journée. Selon une étude (Weber and Plattfaut, 2002 [17]), la conduite de jour et de nuit sont différentes, elles ne demandent pas le même degré d'attention. La nuit demande un degré d'attention plus élevé. Il est donc important dans notre environnement de se poser la question de l'heure de la journée que l'on souhaite reproduire et de la qualité de cette reproduction.

Finalement, un dernier facteur très important dans le sentiment de présence est celui de l'interaction entre l'utilisateur et un environnement virtuel. On parle d'interaction lorsqu'une action de l'utilisateur entraîne une réaction de l'environnement. Communément, on définit quatre tâches fondamentales d'interaction au sein d'un environnement virtuel : la navigation, la sélection, la manipulation et le contrôle d'application. Il est possible d'en classer toutes les interactions existantes dans un monde virtuel selon ces quatre catégories. Comme pour les autres facteurs, plus un utilisateur peut interagir avec son environnement, plus il se sentira immergé dans ce dernier et plus le sentiment de présence sera fort.

Dans le cas d'un simulateur de conduite, il n'est pas aisé de proposer des interactions à l'utilisateur. Simuler des conditions de conduite réelles nécessite de limiter les interactions et de ne proposer que celles qui sont cohérentes avec la présence de l'utilisateur au sein d'un poste de conduite. De plus, dans notre cas précis, nous souhaitons réaliser une expérience sur un phénomène psychologique, l'extension des limites (Intraub and Richardson, 1989 [10]), étudié dans le contexte de la conduite automobile. Pour des raisons de validité des données recueillies, il est indispensable que les sujets de l'expérience soient placés dans des conditions strictement identiques afin d'interpréter correctement l'effet des facteurs que l'on souhaite étudier. Ainsi, nous sommes très limités dans les interactions que nous pouvons permettre à l'utilisateur. La vitesse du véhicule doit être la même pour tous les sujets et la trajectoire doit être également identique. Il nous est cependant possible de proposer des interactions mais de les contrôler, comme permettre à l'utilisateur d'appuyer sur une pédale sans lui donner de réel contrôle sur la vitesse ou encore lui permettre d'utiliser un volant sans lui donner de contrôle sur la trajectoire. Bien entendu, une interaction incomplète aura un apport bien plus faible sur le sentiment de présence mais elle permettra un engagement, même limité, de l'utilisateur. Le phénomène d'extension des limites, pour l'étude duquel est développé le simulateur de conduite, est présenté dans la partie suivante.

Chapitre 2

L'extension des limites : un phénomène anticipatoire

2.1 Découverte du phénomène

Lorsque l'on mentionne le phénomène d'extension des limites (EL), il est nécessaire de le présenter à travers le tout premier article scientifique qui a attesté de son existence. C'est en 1989 avec l'article « Wide-Angle Memories of Close-Up Scenes » qu'Intraub et Richardson ont présenté un effet d'extension des limites lors de la remémoration de photographies précédemment mémorisées. Il s'agit d'un phénomène où, lorsque le sujet est soumis à une tâche de mémorisation de photographies, il se remémore les scènes avec une étendue plus importante. Certains éléments de la scène peuvent être complétés (i.e., dans le cas d'objets tronqués par les limites de la scène), voire créés de toute pièce. Dans leur étude, ils ont réalisé deux expériences. La première consistait en une tâche de rappel par le dessin de certaines photographies qui leur avaient été précédemment présentées durant 15 secondes chacune. La consigne était de reproduire par un dessin le plus précis possible la photographie d'origine et ce, en respectant au mieux les proportions originales. Les résultats de cette première expérience ont montré que dans la majorité des cas, les sujets avaient représenté les scènes préalablement perçues en surestimant l'étendue, ajoutant des informations qui n'étaient pas présentes sur la scène originale, mais que le contexte permettait d'inférer.

Afin de compléter les résultats de cette première expérience, il a été décidé d'en réaliser une seconde mobilisant, non plus une tâche de rappel, mais une tâche de reconnaissance, la particularité de ce type de tâche étant de présenter de nouveau les scènes mémorisées au cours de la phase de test. Ces scènes avaient toutefois subi, pour la moitié d'entre elles, des modifications concernant leur plan, les faisant paraître plus rapprochées ou plus éloignées que la scène mémorisée. Ainsi, il était demandé aux sujets de préciser si la photographie

qui leur était présentée était en plan identique, plus rapprochée ou au contraire, plus éloignée que celle qu'ils avaient mémorisée 48h auparavant. Si la photographie est jugée plus proche que celle d'origine alors qu'elle est identique cela signifie que le sujet se remémore la scène avec une étendue plus importante que l'étendue réelle, témoignant d'un phénomène d'extension des limites. Les résultats observés sont cohérents avec ceux de la première expérience puisque le même effet a été constaté : la plupart des sujets se remémorent une fois encore les scènes en surestimant l'étendue.

Les résultats de ces deux expériences montrent une distorsion lors de la mémorisation de scènes. Dans la première expérience comme dans la seconde, la remémoration d'une photographie préalablement perçue est inexacte. Dans la grande majorité des cas, le sujet restitue des éléments qui n'étaient pas présents ou alors incomplets. Cependant, les éléments rajoutés ont une logique et une cohérence. Soit le sujet complète un élément qui était tronqué par la bordure de l'image d'origine, soit il rajoute un élément qui aurait pu être présent dans le contexte de la scène.

Après la présentation de l'extension des limites par Intraub et Richardson (1989), diverses études ont été menées au cours de ces dernières décennies afin de mieux comprendre le phénomène. Ainsi, je vais présenter dans la partie suivante les principales caractéristiques de l'extension des limites découvertes ces dernières années.

2.2 Caractéristiques du phénomène d'extension des limites

Comme vue dans la partie précédente, l'extension des limites est un effet qui intervient dans le cadre de la mémorisation et de la restitution d'une scène. Lorsque l'on demande à un sujet de prêter fortement attention à une image puis de la restituer par la suite, le sujet restitue dans la majorité des cas plus d'éléments que l'image d'origine n'en contenait réellement.

2.2.1 Un effet robuste mais modulable

Diverses études ont montré que ce phénomène est particulièrement caractérisé par sa robustesse. En effet, le phénomène semble difficile à contrecarrer. Plusieurs expériences ont été menées afin de tenter de réduire ou de faire disparaître l'effet mais cela a souvent été un échec. La robustesse du phénomène a été mise à l'épreuve à travers diverses techniques comme demander aux participants de contrecarrer le phénomène lors de la phase de dessin (Intraub and Bodamer, 1993 [9]), allonger le temps de présentation des photographies ou encore inverser l'orientation des images (Intraub and Berkowits, 1996 [8]). A chaque fois la mise en place de ces techniques a eu un effet négligeable sur l'effet d'extension des limites

témoignant ainsi de sa robustesse. D’autres expériences ont aussi permis de montrer que l’effet existe également chez les bébés (de 3 à 7 mois) (Quinn and Intraub, 2007 [16]), ou encore qu’il résiste dans certains troubles comme le syndrome d’Asperger (Chapman and al., 2005 [4]), caractérisé par une tendance à se focaliser sur les détails des scènes perçues. De plus, il a aussi été montré que l’effet d’extension des limites ne se limite pas à la perception visuelle, mais a aussi été généralisé au toucher (Intraub, 2004 [6]), montrant qu’il s’agit d’un mécanisme fondamental d’adaptation.

Toutes ces études témoignent de la robustesse du phénomène. Cependant, il serait erroné de penser que l’effet n’est pas modulable. Tout d’abord, plusieurs études (Intraub, 2006 [7]) ont montré l’importance de la focalisation du sujet sur une zone particulière de l’image lors de la tâche de mémorisation. De plus, il a aussi été montré que l’extension des limites était modulable par le caractère émotionnel des scènes perçues (Ménétrier et al., 2013 [14]). Ainsi, il a été montré que les photographies à valence négative seraient à l’origine d’un nombre moins élevé d’erreurs d’extension, se traduisant par l’absence de distorsion mnésique directionnelle, tandis que les photographies à valence positive induiraient une extension des limites.

En résumé, il est clair que l’extension des limites est caractérisée par sa robustesse mais reste cependant modulable, par des facteurs tels que la focalisation attentionnelle ou les émotions.

2.2.2 L’impact de l’expertise sur l’extension des limites

Comme présenté précédemment, l’extension des limites est modulable. Un facteur auquel plusieurs chercheurs se sont intéressés est celui de l’expertise cognitive. En effet, puisque l’extension des limites est un phénomène en lien direct avec les connaissances dont dispose l’observateur vis-à-vis de la scène perçue, il est logique de se poser la question de l’effet des connaissances du sujet sur la photographie qu’il observe.

Dans une recherche de 2013 (Ménétrier et Didierjean, 2013 [12], voir aussi Ménétrier et al., 2017 [13]), Ménétrier et Didierjean ont réalisé plusieurs expériences afin de déterminer si l’extension des limites était sensible aux connaissances expertes, question qu’ils ont étudiée dans le domaine de la conduite automobile. Il fallait mémoriser une série de photographies représentant, pour une moitié, des scènes de conduite, supposées activer les connaissances expertes, et neutres pour l’autre moitié (i.e., scènes de la vie quotidienne, supposées ne pas activer les connaissances expertes). Les résultats de cette étude ont permis de constater que les groupes composés de novices et de débutants ont montré une EL alors que les groupes composés de conducteurs de niveau intermédiaire et expert ont montré une restriction des limites (i.e., tendance à faire un gros-plan sur le souvenir). Le phénomène diminuait avec l’augmentation de l’expertise.

2.2.3 Extension des limites et extrapolation du mouvement : un seul et même phénomène ?

L'extrapolation du mouvement (Freyd and Finke, 1984 [5], voir Blättler, Ferrari, Didierjean and Marmèche, 2012 [2], pour une revue) est un autre phénomène qui a été à plusieurs reprises mis en relation dans la littérature avec l'extension des limites. Il se définit comme étant une erreur dans le souvenir de la position finale d'un objet en mouvement. Plus précisément, lorsque l'on observe un objet en déplacement (par exemple une séquence d'images où l'objet se rapproche), l'observateur va anticiper le déplacement dudit objet, et se remémorera la position de l'objet plus en avant dans le sens du déplacement (selon la trajectoire) que son point réel de disparition. Dans le cas d'un objet qui se rapproche, l'observateur se souviendra donc de l'objet comme étant plus proche de lui que ce n'était le cas au moment de sa disparition. Dans le cadre de séquences d'approche, l'effet se manifeste donc de façon opposée à l'extension des limites. Ainsi c'est un phénomène qui m'a semblé important à étudier dans le cadre de mes recherches bibliographiques puisqu'il pourrait se manifester lors de l'utilisation du simulateur de conduite (à cause du mouvement de la voiture).

J'ai donc étudié un article (Munger, Owens, Conway, 2005 [15]) traitant la question de l'existence d'une relation entre l'extension des limites et l'extrapolation du mouvement. En présentant des séquences d'approche constituées de trois photographies successives, les observations réalisées ont montré qu'il ne semble pas y avoir de relation entre les deux phénomènes. Ils seraient indépendants, la structure des scènes étant établie avant que soit traité le mouvement. De plus, les résultats ont montré que l'effet d'extension ne se manifeste pas de même façon dans une scène fixe et une scène en mouvement.

Une étude (Blättler et al., 2010 [1]) a par ailleurs étudié l'effet de l'expertise sur le phénomène d'extrapolation du mouvement. Tout comme pour l'extension des limites, l'étude a montré un impact clair de l'expertise sur ce phénomène. Plus le niveau d'expertise serait élevé, plus l'extrapolation du mouvement serait importante.

Chapitre 3

Travaux réalisés

3.1 Présentation de l'environnement virtuel

Dans le cadre de ce master recherche, le principal outil qui a été utilisé pour l'expérimentation durant le second semestre est un simulateur de conduite. Ce simulateur est une application tournant sur le moteur 3D Unity (Version 2019 4.10). Ce simulateur permet à un sujet de vivre une expérience de conduite à travers un écran et des périphériques d'interaction (pédales, volant) définis.

L'application est constituée d'un menu permettant de changer divers paramètres du simulateur. Il est ainsi possible de choisir entre une simulation de jour et une simulation de nuit, de choisir entre un pilote automatique ou un pilote manuel, d'activer ou de désactiver de nombreux groupes d'objets (végétation, publicité...). Finalement, le menu permet aussi de régler les différents paramètres de la tâche visuelle.

Le projet repose sur le développement d'un environnement urbain dans lequel l'utilisateur peut se déplacer au cours de la simulation. L'environnement urbain est assez riche et propose ainsi des routes, de la végétation, du mobilier urbain classique (lampadaires, bancs, panneaux publicitaires...) ainsi que des bâtiments.

Lors de la simulation, l'utilisateur perçoit l'environnement comme s'il était à la place du conducteur. Ce qui permet une bonne immersion dans l'environnement urbain. En ce qui concerne les périphériques, l'utilisateur peut déplacer le véhicule à l'aide d'un clavier d'ordinateur ou d'un volant prévu à cet effet. Dans le cas d'une simulation utilisant le pilote automatique, aucun périphérique n'est nécessaire.

La partie la plus importante de ce simulateur est la tâche visuelle qui a été implémentée. Il s'agit d'une tâche destinée à l'étude du phénomène d'extension des limites. Durant la simulation, la voiture de l'utilisateur s'arrête à plusieurs reprises sur des emplacements définis à l'avance. Au cours de l'interruption, la scène est remplacée par un écran noir

dont la durée est préalablement paramétrée par l'expérimentateur. Pendant l'interruption, la caméra peut avancer, reculer ou rester au même endroit. Cela est paramétrable pour chaque interruption programmé dans les entrées du programme.

L'objectif est de repérer la présence ou non de distorsion mnésique au moment de l'arrêt. Plusieurs questions sont posées dont la principale : « La scène vous semble-t-elle identique, plus proche ou plus éloignée qu'au moment de l'interruption ? ». Le degré de confiance en sa réponse est également demandé au participant. Le nombre total d'essais est paramétré par l'expérimentateur et les données de réponses de l'utilisateur sont accessibles après la simulation dans un fichier xml (Extensible Markup Language).

3.2 Travaux préliminaires

3.2.1 Premier semestre

Durant le premier semestre, ma principale tâche était la réalisation de l'étude bibliographique. Néanmoins, j'ai aussi eu l'occasion de travailler sur le simulateur de conduite. En effet, ce dernier est à l'origine un projet repris cette année par Mr Richard et quelques étudiants de Polytech Angers. Cependant, le projet tel que je l'ai reçu était une ébauche et nécessitait encore du travail.

Pour commencer, j'ai travaillé sur le nettoyage du projet. Dans un projet utilisant le moteur 3D Unity, on retrouve de nombreux « assets » (comprendre musique, objets 3D, images...) et une grande majorité ne sont souvent pas utilisés. C'était le cas ici où j'ai eu l'occasion de supprimer beaucoup d'éléments non pertinents dans l'utilisation du projet (e.g. des objets 3D, des textures ou encore des musiques non utilisées qui ont été importées en même temps que d'autres éléments), allégeant ainsi ce dernier.

Ensuite, un projet Unity comprend aussi de nombreux scripts écrits avec le langage de programmation C Sharp. Dans un projet étudiant, il est courant que certains des scripts ne soient pas exploités, ou que certaines fonctionnalités ne soient pas utiles ou alors mal optimisées. Dans un souci d'optimisation, j'ai donc nettoyé les différents scripts du projet et supprimé toute fonctionnalité non indispensable au projet.

Lors de la définition du plan d'expérience, j'ai remarqué que l'environnement ne permettait pas un nombre d'essais (interruption du déplacement du véhicule) suffisant pour une étude valide de l'extension de limites. J'ai donc travaillé sur un agrandissement de la ville afin de permettre un nombre d'essais suffisant pour chaque participant.

Durant ce premier semestre, j'ai donc préparé le projet de la phase de développement prévue pour le second semestre. J'ai nettoyé et optimisé le projet, commencé à agrandir la ville et retravaillé les menus.

3.2.2 Second semestre

Durant le second semestre et donc le stage, je me suis lancé intensivement dans le développement de l'environnement virtuel.

Puisque la ville virtuelle n'était pas assez grande pour le trajet prévu, j'ai commencé par travailler sur l'agrandissement de la ville. L'objectif était de tripler la superficie de la ville virtuelle tout en évitant au possible la répétition de cette dernière. Je ne pouvais donc pas dupliquer une partie existante de la ville. J'ai donc tracé les nouvelles routes, puis ajouté les trottoirs, les bâtiments, les feux de circulation ainsi que tous les autres éléments urbains (poubelles, arbres, panneaux publicitaires, plaques d'égouts, bancs...). J'ai choisi de placer tous les éléments à la main afin d'éviter le plus possible une redondance du paysage, ce qui m'a pris beaucoup de temps.

Une fois l'agrandissement terminé, je me suis lancé dans l'amélioration du menu principal de l'application et des options associées. L'objectif était de pouvoir modifier deux paramètres de la simulation à partir du menu et d'en améliorer l'ergonomie au passage. Ces deux options faisaient référence à : la vitesse du véhicule (paramétrée en mètres par secondes) et la durée de l'écran noir lors de l'interruption (en secondes). Le menu devait aussi permettre de choisir la charge perceptive de l'environnement (faible ou forte), ainsi que le mode d'éclairage (diurne ou nocturne).

Dans un troisième temps, je me suis intéressé à ce qu'on appelle le "pipeline de rendu" dans Unity. Ce pipeline de rendu a pour rôle le rendu (et donc l'affichage) de l'environnement virtuel. Il en existe différents sous Unity, les deux pipelines les plus utilisés sont l'HDRP (High Definition Render Pipeline) et l'URP (Universal Render Pipeline). Lorsque l'on crée un projet, Unity utilise un pipeline basique, mais ce dernier peut être modifié. J'ai donc fait le choix de passer le projet sur le pipeline "HDRP" qui permet un affichage de textures et d'environnement virtuel réaliste. Ce dernier consomme d'avantage de ressources mais reste possible avec un ordinateur performant. Cela m'a permis d'obtenir un environnement virtuel plus lumineux, avec de meilleures textures et, plus généralement, de meilleure qualité (cf. figures 5.4 et 5.5).

Une fois que l'environnement était de taille suffisante, il a fallu choisir un nouveau trajet pour le véhicule. La seule condition était de créer un trajet suffisamment long pour pouvoir placer les 16 points d'interruption de la tâche visuelle avec suffisamment de distance entre eux. Ces 16 points d'interruption correspondent aux différents essais expérimentaux, avec trois possibilités : avancer la voiture, la reculer, ou ne pas la déplacer. Comme c'est habituellement le cas pour ce type d'expérience, 8 des essais sont "identiques" (absence de déplacement), 4 sont plus "rapprochés" (déplacement du véhicule vers l'avant), et 4 sont plus "éloignés". De plus, un tirage au sort a été réalisé afin de décider de la répartition des trois types de tâche d'essais au cours de la tâche. Une fois le pattern décidé je me suis occupé du développement nécessaire sous Unity pour que tout fonctionne comme souhaité.



FIGURE 3.1 – Parcours du véhicule

Les 16 points d'interruption évoqués précédemment (i.r. essais expérimentaux) apparaissent sous forme de points rouges sur la figure 3.1. Le tracé bleu fait référence à ce que l'on appelle dans Unity un "navmesh". Un "navmesh" dans Unity est un trajet que l'on définit et sur lequel on autorise une entité à se déplacer afin d'atteindre les objectifs qu'on lui donne. Dans le présent travail, l'entité en question est le véhicule et les objectifs sont les 16 points d'arrêt. Lorsque l'on donne un objectif situé sur le trajet au véhicule, ce dernier va chercher à l'atteindre en prenant le chemin le plus court possible. L'entité doit cependant respecter certains paramètres comme une vitesse maximale ou une largeur de route minimale. Cependant, le système est loin d'être parfait et le comportement du véhicule n'est pas parfaitement réaliste malgré les nombreux réglages réalisés. Le principal problème concerne les virages, où le véhicule effectue une rotation assez peu réaliste. Pour pallier ce problème j'ai réalisé un script ralentissant progressivement le véhicule à l'approche d'un virage. Cela a permis d'obtenir un comportement plus réaliste bien qu'il ne soit toujours pas parfait.

Une fois la ville agrandie, le trajet réalisé et les points d'interruption placés, je me suis intéressé à la création d'un environnement d'entraînement. En effet, afin d'optimiser la validité des résultats de la tâche visuelle intégrée à l'environnement virtuel, nous avons décidé de créer un second environnement virtuel contenant une petite partie de la ville et un trajet avec seulement quelques arrêts. L'objectif étant de familiariser les participants avec le fonctionnement de la tâche visuelle avant de commencer la véritable simulation. J'ai donc dédoublé la ville déjà existante et j'ai récupéré une portion non utilisée pour le trajet

principal afin de créer le trajet d'entraînement. J'ai ensuite réalisé quelques modifications dans le décor afin de rendre le tout plus réaliste, j'ai aussi ajouté le trajet ainsi que trois points d'interruption.

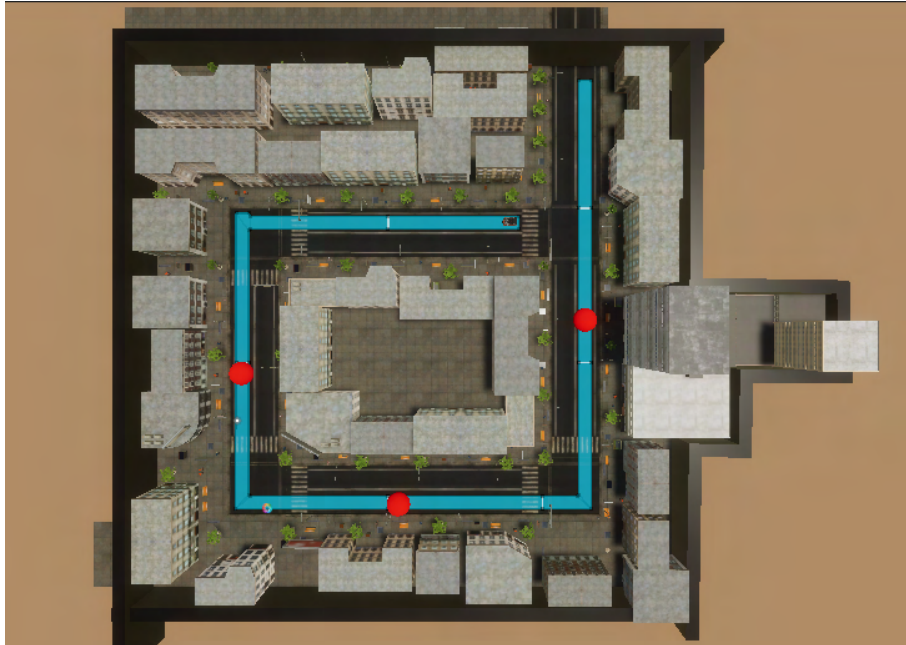


FIGURE 3.2 – Parcours du véhicule lors de l'entraînement

Finalement, pour que l'environnement virtuel soit opérationnel en vue de la phase expérimentale, il manquait encore l'intégration de l'Eye-tracking au projet. Cette intégration a été réalisée avec l'aide de Florian Focone, manager du UserLab, qui connaissait déjà le fonctionnement du capteur. Je me suis donc rendu sur place pour travailler avec lui sur l'intégration du capteur. Nous avons réalisé cette intégration de façon à ce que pour chaque image affichée par Unity (105 images par seconde) une requête soit envoyée au capteur afin de récupérer la position du regard de l'utilisateur sur l'écran.

3.3 Objectifs fixés pour le stage

Concernant la passation des expériences, nous avons décidé d'utiliser le « UserLab » de l'Université d'Angers, situé à la Maison de la recherche Germaine Tillion. Il s'agit d'un laboratoire auquel nous avons accès qui pouvait nous fournir du matériel ainsi qu'une salle d'expérimentation. La simulation devait être réalisée sur un ordinateur et projetée sur un écran. Concernant les périphériques, nous avons envisagé deux possibilités : l'utilisation du clavier et d'une souris, ou l'utilisation d'un volant et d'une souris. Un système d'« Eye-tracker » devait être mis en place afin de récupérer le signal souhaité. Pour finir, un

protocole sanitaire stricte devait être respecté avec une obligation de porter le masque, de se laver les mains, et une désinfection systématique du matériel.

Lors de la réalisation des expériences, nous avons fait le choix d'étudier l'effet de deux facteurs sur l'extension des limites : le niveau de charge perceptive (LAVIE, 1995 [11]) et le niveau d'expertise.

La charge perceptive correspond à la quantité d'éléments présents dans l'environnement. Plus l'environnement virtuel de notre simulateur sera chargé en détails plus la charge perceptive sera importante. De cette façon, nous avons contrasté une condition dans laquelle la charge perceptive est définie comme faible (i.e. comportant les éléments suivants : routes, panneaux de circulations et bâtiments) avec une condition de charge élevée (i.e. en plus des éléments sus-cités, l'environnement comportait des arbres, panneaux publicitaires et autres éléments de décors). L'hypothèse concernant la charge perceptive était une EL plus faible dans le cas d'une charge perceptive élevée expliqué par la présence d'un plus grand nombre de points de repères.

Le niveau d'expertise est un facteur qui a plusieurs fois été étudié afin d'en apprendre plus sur l'EL. Comme évoqué précédemment, il influence directement le phénomène. Nous avons dans un premier temps défini deux groupes d'expertise (novices, débutants), eux mêmes répartis dans les deux niveaux de charge perceptive. Nous aurions donc au total quatre groupes de sujets : Un groupe de conducteurs novices avec une charge perceptive faible, un groupe de conducteurs débutants avec une charge perceptive faible, un groupe de conducteurs novices avec une charge perceptive élevée et pour finir un groupe de conducteurs débutants avec une charge perceptive élevée.

Partant de ce plan d'expérience, un test de puissance avait été réalisé via G*Power afin de déterminer le nombre de personnes nécessaires à la réalisation de ce dernier. Pour une puissance de .80, l'idéal était des groupes de 80 personnes. Malheureusement, un tel échantillon nous semblait peu réaliste à ce stade, et nous avons donc opté pour des groupes de 20 personnes, l'effectif minimal requis pour réaliser des statistiques paramétriques. Les groupes devaient dans la mesure du possible être mixtes, afin de s'assurer que le sexe des participants ne biaise pas les résultats.

En raison du contexte sanitaire, il a été envisagé dans un premier temps de réaliser l'expérience à distance. Cela aurait sans aucun doute permis de réaliser l'expérience sur un nombre de participants bien plus élevé mais cela apportait aussi beaucoup de points négatifs. A distance, il aurait été impossible d'utiliser le dispositif d'Eye-tracking. De plus le matériel de chaque participant aurait été différent et il aurait été impossible de s'assurer que tous respectent les consignes. C'est donc une possibilité que nous avons éliminée malgré la difficulté à trouver des participants prêts à se déplacer au UserLab et remplissant les critères d'inclusion.

3.4 Réalisation de l'expérience

Le plan d'expérience que j'ai présenté dans la partie précédente correspond à ce qui était prévu et souhaité. Malheureusement, nous n'avons pas pu suivre exactement ce plan et je vais donc détailler dans cette partie ce qui a finalement été réalisé.

Alors que nous souhaitions tester l'effet de deux facteurs sur l'extension des limites (la charge perceptive et l'expertise en conduite), nous avons jugé qu'il était plus pertinent de nous concentrer dans un premier temps sur un seul de ces facteurs en raison de difficultés liées au recueil des données. Nous avons donc choisi de nous limiter à l'étude de la charge perceptive. Au lieu de quatre groupes, nous avons donc deux groupes de participants.

Ensuite, nous avons abordé la possibilité d'utiliser certains périphériques comme un clavier, une souris ou encore un volant. Puisque le simulateur était en pilote automatique, j'ai fait le choix de ne pas donner de périphérique aux participants. J'utilisais seulement une souris afin de rentrer les réponses que me dictaient les participants.

Finalement, il est important de noter que le nombre de participants initialement prévu n'a pas été atteint. En effet, puisque la variable que nous avons choisi de tester était la charge perceptive, nous avons dû maintenir constante la variable expertise afin que cette dernière ne biaise pas les résultats. Nous avons donc fixé une condition pour la sélection des participants : avoir le permis de conduire depuis 2 à 4 ans (4 ans au maximum). Ce critère a été choisi pour correspondre le mieux possible à un public d'étudiants. Cependant, le recrutement a été très difficile et je n'ai pu faire passer que 17 participants. Bien moins que ce qui était prévu à l'origine. Pour terminer cette partie consacrée à la réalisation de l'expérience, je vais maintenant décrire précisément la méthode.

3.4.1 Population

Concernant les participants, il y en a eu un nombre de 17 au total, répartis en 7 hommes et 10 femmes. Ils étaient tous français mais répartis sur le territoire. L'âge moyen du groupe était de 20.1 ans ($SD = 1.22$) avec un maximum de 23 ans et un minimum de 19 ans. Aucun participant n'a pris part à l'expérience sans porter sa correction visuelle (si concernés). Toute participation à l'expérience s'est faite sur la base du volontariat et d'un consentement clairement déclaré.

3.4.2 Matériel

Pour ce qui est du matériel. L'écran utilisé était un écran 27 pouces de résolution 1920 par 1080 pixels. L'écran était posé sur un table à hauteur des yeux du participant et il était équipé d'un capteur Tobii réalisant le suivi des yeux. Le capteur était fixé sur la partie inférieure de l'écran. Du point de vu logiciel, seul Unity (v 2019 4.10) était utilisé.

3.4.3 Procédure

Lors de l'arrivée d'un participant, il lui était demandé de remplir un questionnaire de consentement. Une fois le questionnaire terminé, je demandais au participant de passer sur la seconde table et de s'installer en face de l'écran. Une fois le participant installé, je lançais la calibration de l'EyeTracker pendant laquelle le participant devait regarder 9 points apparaissant les uns après les autres sur l'écran. Une fois la calibration terminée, je lançais alors l'application tout en prenant le temps d'expliquer au participant ce qui lui était demandé. Bien que dans une condition passager (auto-pilote) il était demandé au participant de se concentrer sur la route comme s'il conduisait le véhicule. Les participants étaient assignés aléatoirement à l'une des deux conditions expérimentales (charge faible ou élevée). Une fois la phase d'entraînement (3 points d'interruption) terminée, je lançais la phase de simulation. Une fois la simulation terminée, je demandais au participant de retourner sur la première table afin de remplir le questionnaire post-expérimental.

3.5 Récupération des données

Nous avons recueilli deux types de données : les données comportementales, correspondant aux réponses des participants à la tâche visuelle, et les données oculométrique. Pour ce qui est des données liées à la tâche visuelle, un fichier de type csv était créé pour chaque participant et une ligne était ajoutée pour chaque itération de la tâche visuelle. J'ai donc obtenu 17 fichiers csv de 16 lignes (correspondant au nombre d'essais de la tâche). Pour les données oculométriques, le fonctionnement était similaire puisqu'un fichier csv était aussi créé pour chaque participant. Ensuite, une requête était effectuée au capteur par Unity à chaque image affichée afin de récupérer les coordonnées du regard de l'utilisateur sur l'écran. Les données récupérées étaient ajoutées au fichier csv au fur et à mesure de la simulation. J'ai donc récupéré 17 autres fichiers csv contenant 200 000 à 300 000 lignes selon le temps de réponse d'un participant.

Chapitre 4

Résultats

4.1 Traitement des données

Comme expliqué précédemment, j'ai obtenu à l'issue de la phase expérimentale deux jeux de données sur lesquels je devais réaliser des traitements. Le premier jeu correspondant aux réponses des participants aux questions de la tâche visuelle implémentée dans la simulation et le second aux données générés par le système d'EyeTracker pour chaque participant. Toutes ces données étaient sous la forme de tableaux csv (format spécifique, ex : Excel). Il était possible d'exploiter à la "main" le premier jeu de données puisque les fichiers ne contenaient qu'une dizaine de lignes. En revanche, dans le cas du second jeu de données, les fichiers pouvaient contenir jusqu'à 300 000 lignes et il était donc indispensable d'automatiser le traitement de ces derniers.

Après réflexion, j'ai pris la décision d'exploiter ces données à partir du langage de programmation Python. Python est un langage fortement utilisé dans le domaine du traitement du signal, il permet de manipuler aisément des données au format csv, de réaliser des opérations mathématiques, de générer des graphiques ou même de générer des images à partir de matrices. Il était donc parfaitement indiqué dans le traitement de mes fichiers de 300 000 lignes.

Les deux jeux de données étant très différents, je traiterai de leur exploitation dans deux sous-parties distinctes. La première sous-partie sera consacrée aux données issues des réponses des sujets à la tâche visuelle, et la seconde aux données oculométriques. L'interprétation des résultats sera abordée dans la partie suivante.

4.1.1 Les données de la tâche visuelle

En ce qui concerne les données récupérées à l'issue de la tâche visuelle, peu de traitements ont été nécessaires. Les fichiers contenaient les réponses des participants sous forme de propositions (ex : "Beaucoup plus proche" pour indiquer qu'ils ont eu le sentiment que le véhicule avait subi un déplacement en avant). Afin de traiter ces réponses, j'ai remplacé les phrases par des chiffres allant de -2 à 2 selon la réponse des participants (-2 pour "beaucoup plus proche", -1 pour "un peu plus proche", 0 pour "identique", +1 pour "un peu moins proche" et finalement +2 pour "beaucoup plus proche"). Ensuite, j'ai créé un fichier dans lequel j'ai regroupé la moyenne de ces réponses regroupé par participant et par type d'interruption (cf. 4.1).

| Participant | Condition | Identique | Plus rapproché | Plus reculé |
|-------------|---------------|-----------|----------------|-------------|
| 1 | Charge forte | 0.25 | -0.75 | 0.5 |
| 2 | Charge forte | -0.25 | -0.25 | 0.25 |
| 3 | Charge forte | -0.125 | -0.75 | 0.5 |
| 4 | Charge forte | -0.125 | -1 | 1 |
| 5 | Charge forte | -0.625 | -1 | -0.5 |
| 6 | Charge forte | -0.125 | -0.75 | 0.75 |
| 7 | Charge forte | -0.125 | -1 | 0 |
| 8 | Charge forte | -0.625 | -1.25 | 0.75 |
| 9 | Charge forte | -0.375 | -0.75 | 0.75 |
| 10 | Charge faible | -0.375 | -1.25 | 0.25 |
| 11 | Charge faible | -0.125 | -1.25 | 0.5 |
| 12 | Charge faible | -0.375 | -1.5 | 0.75 |
| 13 | Charge faible | -0.125 | -1.25 | 1 |
| 14 | Charge faible | -0.375 | -0.75 | 0.5 |
| 15 | Charge faible | -0.25 | -0.75 | 0.5 |
| 16 | Charge faible | 0 | -0.5 | 1 |
| 17 | Charge faible | 0 | -1 | 0.75 |

FIGURE 4.1 – Données traitées issues de la tâche visuelle

La figure 4.1 représente donc un tableau comprenant les moyennes de chaque participant aux différents essais de la tâche visuelle. La première colonne nous indique si le participant a été confronté à l'environnement virtuel à forte ou à faible charge perceptive. Les trois autres colonnes sont des moyennes pour chaque type d'essai (par exemple "Plus rapproché" correspond à tous les arrêts de la voiture où cette dernière a été avancée, la valeur de la case correspond à la moyenne des réponses du participant pour ce type d'essai). Ainsi, en obtenant un tableau de cette forme il était désormais facile de réaliser des moyennes, des écarts-types ou toute autre étude statistique que l'on aurait jugée nécessaire afin de comparer notre condition expérimentale.

4.1.2 Les données oculométriques

Les données oculométriques correspondaient à des tableaux composés de 11 colonnes et d'un grand nombre de lignes correspondant au nombre d'images affichées durant la simulation (105 images par seconde dans notre cas). Un tableau de ce type était généré à chaque simulation, donnant un tableau à exploiter par sujet, soit 17 au total. Concernant les champs renseignés (en colonnes), le premier champ indiquait la date et l'heure auxquelles les données enregistrées, la seconde indiquait si oui ou non le participant était en train de conduire au moment où les données étaient enregistrées. Les trois colonnes suivantes indiquent la position du participant dans l'environnement virtuel, les deux suivantes nous donnaient la position de son regard sur l'écran, la huitième colonne ("NomMeshRay") indiquait quel objet de l'environnement était observé et finalement les trois dernières colonnes donnent les coordonnées de cet objet dans l'environnement.

Afin de mieux visualiser les données en question, la figure 4.2 offre un aperçu de données récoltées pendant une simulation :

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|----|------------------|----------|-----------|----------|----------|------------------|------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | time | conduite | PosCam_X | PosCam_Y | PosCam_Z | PosRegardEcran_X | PosRegardEcran_Y | NomMeshRay | PosImpactRayWorld_X | PosImpactRayWorld_Y | PosImpactRayWorld_Z |
| 2 | no data | | | | | | | | | | |
| 3 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.729 | 1.36669 | 34.368 | | | 0 nomesh | | | |
| 4 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.729 | 1.426281 | 34.368 | | | 0 nomesh | | | |
| 5 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.72942 | 1.426281 | 34.36787 | | | 0 nomesh | | | |
| 6 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.72962 | 1.426281 | 34.36579 | | | 0 nomesh | | | |
| 7 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.73249 | 1.426281 | 34.34035 | | | 0 nomesh | | | |
| 8 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.73255 | 1.426281 | 34.2352 | 0.494665 | 0.5213927 | Building 07 (6) | -28.80536 | 0.8956077 | -3.931998 |
| 9 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.72905 | 1.426281 | 34.04979 | 0.4867238 | 0.4848771 | Building 07 (6) | -28.14506 | 1.799864 | -3.931998 |
| 10 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.72151 | 1.426281 | 33.78379 | 0.4894512 | 0.4869609 | Building 07 (6) | -28.04466 | 1.746295 | -3.931998 |
| 11 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.70977 | 1.426281 | 33.43713 | 0.485357 | 0.461222 | Building 07 (6) | -27.72087 | 2.369424 | -3.931998 |
| 12 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.69398 | 1.426281 | 33.00992 | 0.4923288 | 0.4959391 | Building 07 (6) | -27.94695 | 1.523961 | -3.931998 |
| 13 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.67444 | 1.426281 | 32.50237 | 0.4040706 | 0.5226299 | Building 07 (6) | -24.1777 | 0.8878126 | -3.931998 |
| 14 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.66964 | 1.426281 | 32.38011 | 0.3985535 | 0.5198232 | Building 07 (6) | -23.95984 | 0.9561954 | -3.931998 |
| 15 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.66621 | 1.426281 | 32.29221 | 0.3961374 | 0.5267919 | Building 07 (6) | -23.85883 | 0.7920785 | -3.931998 |
| 16 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.65899 | 1.426281 | 32.10767 | 0.3946082 | 0.5178111 | Building 07 (6) | -23.80982 | 1.006865 | -3.931998 |
| 17 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.65604 | 1.426281 | 32.03337 | 0.3988107 | 0.5111035 | Building 07 (6) | -24.00249 | 1.165314 | -3.931998 |
| 18 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.65327 | 1.426281 | 31.96233 | 0.4002977 | 0.5097495 | Building 07 (6) | -24.06445 | 1.198031 | -3.931998 |
| 19 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.64812 | 1.426281 | 31.83143 | 0.3986774 | 0.5078159 | Building 07 (6) | -24.01466 | 1.243793 | -3.931998 |
| 20 | 05/04/2021 10:09 | True | -29.64507 | 1.426281 | 31.75494 | 0.401924 | 0.5204486 | Building 07 (6) | -24.16146 | 0.9493637 | -3.931998 |

FIGURE 4.2 – Données oculométriques issues d'une simulation

Il existait de nombreux moyens d'exploiter ces données. Dans notre cas, les colonnes qui nous intéressaient prioritairement étaient les colonnes 6 et 7 ("PosRegardEcranX" et "PosRegardEcranY"), indiquant la position du regard d'un participant durant une simulation. Plus particulièrement, nous avons choisi de nous intéresser à la position du regard de chaque participant sur un intervalle de temps de 2 secondes précédant chaque interruption. L'idée principale étant de séparer ces résultats selon la condition expérimentale dont ils sont issus (charge perceptive faible ou élevée) et donc de comparer l'impact de la charge perceptive sur l'observation de la scène. L'objectif était également de faire le lien avec les données issues de la tâche visuelle.

Pour exploiter ces deux colonnes, j'ai créé un programme python chargé d'ouvrir le fichier souhaité et de récupérer les deux colonnes sous forme de deux tableaux. Un ta-

bleau contenant les coordonnées horizontales et un autre les coordonnées verticales. Le programme récupérait aussi la deuxième colonne pour que l'on puisse repérer les 2 secondes précédant une interruption. A partir de là, l'objectif était de générer les 16 cartes de chaleur précédant les 16 interruptions pour chaque participant (272 cartes en tout). Pour ce faire, j'ai bouclé sur mes tableaux de données et à chaque interruption que je repérais, j'ajoutais les 210 paires de coordonnées à un tableau 2D (de type [x,y]). Une fois un tableau de type obtenu, pour chaque paire de coordonnées j'ajoutais la valeur de 10 à un tableau de taille 1920 colonnes par 1080 lignes aux coordonnées en question. Par exemple, si la paire de coordonnées $x=500$ $y=250$ avait été présente 5 fois dans les 210 paires stockées, le tableau aurait contenu la valeur de 50 aux coordonnées [500,250]. Cette méthode me permettait de générer une carte de chaleur comme l'on peut le voir sur cette figure :



FIGURE 4.3 – Calque provisoire du participant 8 sur les deux secondes précédant la première interruption

Sur cette figure, chaque point représente un pixel de l'écran ayant été observé par le participant sur les deux secondes précédant une interruption. La couleur du point dépend du nombre de fois que le pixel a été regardé. J'ai donc en tout généré 272 calques de ce type.

La partie suivante de l'opération consistait à superposer ces calques sur une image prise au moment de l'interruption. Pour ce faire, j'ai réalisé des captures d'écran de chaque

interruption dans le cas d'un charge perceptive forte et faible (32 captures d'écran au total). Pour faciliter la superposition, je me suis assuré que les captures et les calques avaient la même résolution de 1920 par 1080 pixels. La figure 4.4 donne un exemple de la première interruption dans le cas d'une charge perceptive faible.



FIGURE 4.4 – Capture de la première interruption dans le cas de l'environnement à faible charge perceptive

Finalement, la dernière étape de l'opération était donc la superposition des deux images. Cette opération est aisée à l'aide de Python, je devais juste faire attention à ne pas me tromper entre les captures de l'environnement à faible ou à forte charge perceptive selon le participant. On obtient alors le résultat de la figure 4.5.



FIGURE 4.5 – Carte de chaleur complète

Une fois ces 272 cartes de chaleur générées, j'ai rapidement constaté qu'il était impossible de toutes les comparer visuellement. J'ai donc décidé de réaliser des cartes de chaleur "globales" (regroupant les 17 participants) pour chaque interruption. J'ai donc généré pour chacune des 16 interruptions trois cartes de chaleur, une carte regroupant tous les participants ayant perçu l'environnement à faible charge perceptive, une seconde regroupant les autres participants assignés à l'environnement à forte charge perceptive, et une dernière regroupant tous les participants. L'objectif était de pouvoir comparer aisément l'observation de la scène chez les deux groupes de participants sur une même interruption. Les figures 4.6 à 4.8 donnent des exemples des résultats obtenus pour la première interruption :



FIGURE 4.6 – Carte de chaleur des participants du groupe "Faible charge perceptive" (première interruption)



FIGURE 4.7 – Carte de chaleur des participants du groupe "Forte charge perceptive" (première interruption)



FIGURE 4.8 – Carte de chaleur de tous les participants (première interruption)

Une fois toutes ces cartes obtenues, il était possible de comparer visuellement les deux groupes sur les points d'interruption de notre choix. Cependant, ce n'était pas une méthode objective. Afin d'obtenir des résultats mathématiquement exploitables, je me suis attelé à calculer la dispersion des points de chaque participant sur chacune des interruptions en séparant bien les deux groupes selon la charge perceptive. Pour ce faire, pour chacune des 272 cartes de chaleur, j'ai commencé par calculer le barycentre des points puis la distance séparant chacun des points de ce barycentre et finalement la moyenne de ces distances. J'ai donc obtenu des résultats sous cette forme : 4.9.

Avec la combinaison des cartes de chaleur et de la valeur de dispersion pour chaque in-

| | E1 | E2 | E3 | E4 |
|-----------------|----|-----------|-----------|-----------|
| P1 | | 20,4 | 9,8 | 14,2 |
| P3 | | 19,4 | 24,2 | 145,7 |
| P5 | | | 12,4 | 43,1 |
| P7 | | 64,4 | 9,6 | 157,6 |
| P9 | | 14 | 16,1 | 20,5 |
| P11 | | 23,6 | 49,2 | 17 |
| P13 | | 26,2 | 18,4 | 26,4 |
| P15 | | 13,7 | 9,6 | 14,7 |
| P17 | | 40,1 | 8,4 | 133,1 |
| Moyenne | | 27,725 | 17,522222 | 63,588889 |
| Ecart-type | | 14,527028 | | |
| Moyenne globale | | 49,192274 | | |

FIGURE 4.9 – Moyenne de dispersion de chaque participant (charge forte) pour chaque interruption (valeur manquante liée à un problème technique du capteur)

interruption selon la charge perceptive, il était maintenant possible de réaliser l'interprétation de toutes ces données.

4.2 Analyse

4.2.1 Analyse des résultats de la tâche visuelle

Afin d'interpréter nos données traitées, il est important de commencer par rappeler l'objectif. Le but de l'expérience était de déterminer l'influence de la charge perceptive sur l'extension des limites. Pour ce faire, 17 participants ont pris part à notre expérience et ont répondu aux questions d'une tâche visuelle classique dans l'étude du phénomène d'extension des limites.

A l'issue de la phase de traitement des données, nous avons obtenu un tableau récapitulatif de nos résultats (voir 4.1). Nous avons choisi d'interpréter ce dernier avec le logiciel de statistique JASP en version 0.14.1.0. Les premières informations que JASP nous a permis d'obtenir sont des statistiques descriptives, en l'occurrence la moyenne de chaque groupe (charge forte ou faible) selon chaque type d'essai ("identique", "rapproché" ou "éloignée"). JASP nous a aussi fourni d'autres informations utiles comme la variance, l'écart-type ou encore les valeurs minimum et maximum. Afin de mieux visualiser ces informations, voici le tableau en question :

L'objectif poursuivi est de réaliser des tests de comparaison de moyennes entre nos deux conditions expérimentales dans le cas d'essais "identiques". C'est à dire -0.236 (SD = 0.276) pour le groupe à forte charge perceptive et -0.203 (SD = 0.163) pour le groupe

| | Identique | | Rapproch. | | Eloign. | |
|------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | Forte charge | Faible charge | Forte charge | Faible charge | Forte charge | Faible charge |
| Valide | 9 | 8 | 9 | 8 | 9 | 8 |
| Manquante | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Moyenne | -0.236 | -0.203 | -0.833 | -1.031 | 0.444 | 0.656 |
| Médiane | -0.125 | -0.188 | -0.750 | -1.125 | 0.500 | 0.625 |
| Écart type | 0.276 | 0.163 | 0.280 | 0.339 | 0.464 | 0.265 |
| Variance | 0.076 | 0.027 | 0.078 | 0.115 | 0.215 | 0.070 |
| Minimum | -0.625 | -0.375 | -1.250 | -1.500 | -0.500 | 0.250 |
| Maximum | 0.250 | 0.000 | -0.250 | -0.500 | 1.000 | 1.000 |

TABLE 4.1 – Analyse statistique des résultats obtenu à l'issue de la tâche visuelle

à faible charge perceptive. Les essais "rapprochés" et "éloignés" ont servi de distracteurs durant la simulation, ce sont les essais "identiques" que nous utilisons pour l'analyse. Afin de nous assurer la présence d'un effet d'extension des limites, il est nécessaire de calculer l'intervalle de confiance de nos données puis de s'assurer que ce dernier soit bien strictement inférieur à 0. Comme on peut le voir sur la figure 4.10, on remarque bien une extension des limites pour nos deux groupes dans le cas d'essais "identiques".

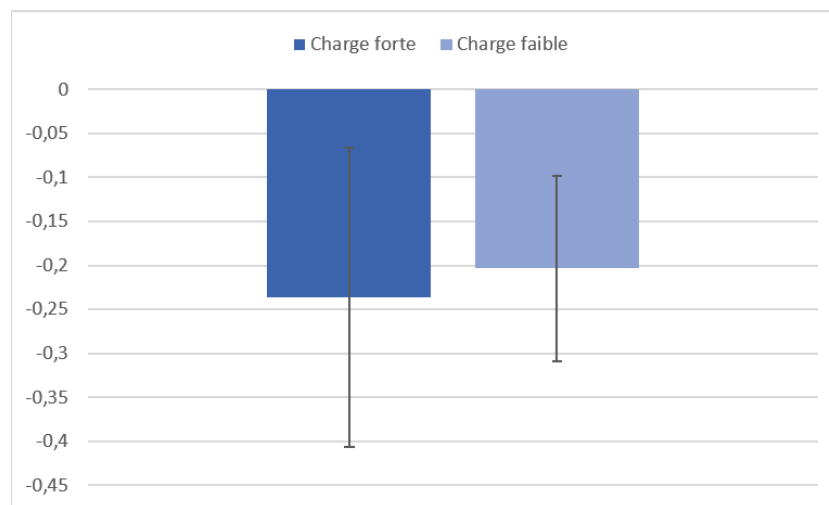


FIGURE 4.10 – Scores moyens d'extension des limites observés pour nos deux groupes dans le cas d'essais "identiques".

Maintenant que nous avons déterminé la présence de l'effet d'extension des limites, il faut nous intéresser à la comparaison de l'effet entre nos deux groupes. Ce que nous observons dans un premier temps est une légère différence entre les deux moyennes. La moyenne du groupe "forte charge" est inférieure à celle de l'autre groupe, cela pourrait indiquer que l'extension des limites est plus forte dans un environnement contenant plus d'éléments mais en réalité il ne nous est pas possible dans l'état de nous assurer que cette

différence n'est pas simplement le fruit du hasard. Il est indispensable de réaliser un test de comparaison de médianes (nous n'optons pas ici pour des tests de comparaison de moyennes en raison d'un nombre insuffisant de participants).

Pour réaliser ce test, j'ai utilisé JASP et le test de "Mann-Whitney". Un test statistique non paramétrique utilisé pour comparer deux échantillons indépendants de petites tailles. Voici les résultats obtenus :

| | W | p | Rank-Biserial Correlation |
|-----------|--------|-------|---------------------------|
| Identique | 33.000 | 0.804 | -0.083 |

TABLE 4.2 – Test de Mann-Whitney

La valeur qui nous intéresse ici est le "p". Pour que l'on puisse considérer qu'il existe une différence significative entre nos deux groupes d'échantillons, la valeur de p doit être inférieure à .05. La valeur de p étant de .804, il nous est impossible dans l'état de conclure à un effet de la charge perceptive sur l'extension des limites. La valeur de p est même trop élevée pour parler de "tendance" ($.05 < p < .10$). Ces résultats sont très probablement dus au trop faible nombre de participants qui ne nous permet pas de nous assurer de l'effet de notre condition expérimentale sur l'extension des limites.

En plus de l'analyse des essais identiques, nous avons aussi souhaité nous assurer de la validité de la tâche visuelle que nous avons implémentée. Pour ce faire, nous avons choisi de comparer les données issues des types d'essai "rapproché" et "éloigné". Le test statistique réalisé est un test de Wilcoxon (test non paramétrique pour échantillons appariés de faible taille). Voici les résultats :

| | W | p | Rank-Biserial Correlation |
|---------------------|-------|-------|---------------------------|
| Rapproche - Eloigne | 0.000 | 0.014 | -1.000 |

TABLE 4.3 – Wilcoxon signed-rank Test (faible charge)

| | W | p | Rank-Biserial Correlation |
|---------------------|-------|-------|---------------------------|
| Rapproche - Eloigne | 0.000 | 0.009 | -1.000 |

TABLE 4.4 – Wilcoxon signed-rank Test (forte charge)

Encore une fois, c'est la valeur de "p" qui nous intéresse. Pour ce type de test, p doit être inférieur à .05 pour que l'on remarque un effet significatif. Dans le cas d'une charge perceptive faible, nous observons un effet significatif du type d'essai, ($w = 0.000$, $p = 0.014$; $r = -1.000$). Dans le cas d'une charge perceptive forte, nous observons également un

effet significatif ($w = 0.000$, $p = 0.009$; $r = -1.000$). Ces résultats indiquent que les deux types d'essais ont été évalués correctement par les participants et que la tâche visuelle a correctement fonctionné.

4.2.2 Interprétation des données oculométriques

La première interprétation que l'on peut réaliser sur nos données oculométriques est une interprétation visuelle. En effet, il est possible de comparer nos deux groupes de participants à partir des cartes de chaleur que l'on a obtenues. On remarque alors que bien que les cartes de nos deux groupes semblent proches, certaines différences apparaissent tout de même. Les panneaux publicitaires, les arbres ou encore les bancs semblent attirer le regard des participants. Dans le groupe "forte charge", il est courant de voir des points de la carte en dehors de la route, là où ce phénomène est beaucoup moins courant dans l'autre groupe. De plus, les cartes de chaleur semblent plus "dispersées" dans le cas du groupe "forte charge" ce qui indiquerait que les membres de ce groupe ont une exploration visuelle plus large de l'environnement. Voici un des exemples les plus parlants avec l'essai numéro 11 :



FIGURE 4.11 – Essai N.11 groupe "charge forte"



FIGURE 4.12 – Essai N.11 groupe "charge faible"

Cependant, il existe certains contre-exemples et une simple interprétation visuelle n'est pas suffisamment précise et objective. C'est pourquoi j'ai choisi de calculer le barycentre ainsi que la distance moyenne des points pour chaque carte de chaleur. Une fois cela effectué, il était possible de calculer la moyenne de chaque groupe. On obtient donc : 49.2 pixels ($SD = 15.0$) pour le groupe "forte charge" et 38.3 pixels ($SD = 12.6$) pour le groupe "faible charge". Cela semble indiquer une dispersion plus importante dans le cas d'un environnement à forte charge perceptive. Cependant il est nécessaire de réaliser une fois encore un test statistique afin de vérifier que l'écart entre nos deux échantillons de données est significatif. Le test effectué est un test de Mann-Whitney :

Comme précédemment, c'est la valeur de "p" qui nous intéresse. Dans notre cas, elle est inférieure à 0.05 ($w = 188.500$, $p = 0.024$; $r = 0.473$) ce qui nous indique une différence significative entre nos conditions expérimentales.

| | Moyenne | |
|------------|--------------|---------------|
| | Forte charge | Faible charge |
| Valide | 16 | 16 |
| Manquante | 0 | 0 |
| Moyenne | 49.181 | 38.337 |
| Écart type | 15.008 | 12.559 |
| Minimum | 17.500 | 17.000 |
| Maximum | 75.200 | 60.600 |

TABLE 4.5 – Dispersion des points de fixation selon la charge perceptive (Statistiques descriptives)

| | W | p | Rank-Biserial Correlation |
|---------|---------|-------|---------------------------|
| Moyenne | 188.500 | 0.024 | 0.473 |

TABLE 4.6 – Test de Mann-Whitney pour la dispersion

On peut donc conclure de ces données oculométriques que dans un environnement à forte charge perceptive, les participants auront tendance à observer plus d'éléments du décor et moins se concentrer sur la route. Cependant, il n'est pas possible d'en conclure une relation avec l'extension des limites puisque nos résultats dans cette partie sont insuffisants.

4.2.3 Perspectives

Dans cette dernière partie, je vais aborder les perspectives futures en ce qui concerne l'environnement virtuel que j'ai développé ainsi que l'étude de l'effet de la charge perceptive sur l'extension des limites.

Concernant l'environnement virtuel, j'ai eu l'occasion de remarquer divers problèmes et améliorations possibles pendant que je faisais passer les participants. Ainsi, je pense qu'il est possible d'améliorer l'environnement sur plusieurs points pour optimiser l'immersion au sein de ce dernier et potentiellement améliorer les résultats de futures expériences. Premièrement, il existe plusieurs détails dans le poste de conduite qui méritent d'être améliorés. Il serait nécessaire d'ajouter des rétroviseurs fonctionnels, de simuler la rotation du volant en fonction de la rotation de la voiture et d'améliorer le modèle pour éviter toute incohérence (exemple : trou entre deux éléments normalement attachés). Deuxièmement, l'environnement est répétitif. Bien que j'aie travaillé de façon à éviter les copier-coller et ainsi la répétition, le nombre de bâtiments et d'éléments urbains à ma disposition était limité et ils étaient tous très ressemblants. Je pense qu'il serait important de trouver, acheter ou créer de nouveaux éléments (panneaux de circulation, bâtiments, publicités...).

On pourrait aussi imaginer la présence de ronds-points dans l'environnement. Finalement, la physique de voiture en elle-même pourrait être améliorée. Dans les lignes droites cela ne pose pas particulièrement de problèmes mais les virages sont brusques et assez peu réalistes. Cela pourrait être réalisé à travers l'implémentation d'une physique réaliste d'une voiture, ce qui demande un certain temps.

Ces améliorations permettraient d'obtenir un environnement encore plus réaliste et immersif qu'il ne l'est actuellement. Cela permettrait une plus forte immersion des participants et ainsi des résultats plus proches de ce que l'on peut attendre d'une expérience en situation de conduite réelle.

Concernant l'étude de la charge perceptive. Le principal problème était le manque de participants. La condition sur l'obtention du permis de conduire depuis 2 à 4 ans a clairement limité les recherches mais la période de partiels ainsi que la forte quantité d'étudiants en distanciel ont joué un rôle. L'expérience pourrait être approfondie avec un plus grand nombre de participants afin d'obtenir des résultats présentant une meilleure validité.

Conclusion

A travers ce rapport j'ai cherché à présenter le travail que j'ai réalisé au cours de cette année.

Pour récapituler, lors de la conception d'un environnement virtuel il est indispensable de prendre en compte le « sentiment de présence ». C'est-à-dire s'assurer que l'utilisateur aura la sensation d'être dans un environnement autre que l'environnement réel. Pour cela, il faut prendre en considération divers facteurs influençant l'immersion et les interactions avec l'environnement virtuel. Malheureusement, cela a des limites dans le cas d'un simulateur de conduite et encore plus lorsque l'on souhaite réaliser une expérience sur un groupe de sujets placés dans des conditions identiques.

Ensuite, j'ai présenté le phénomène psychologique « extension des limites », j'ai mis en avant plusieurs de ses caractéristiques comme sa robustesse mais aussi son caractère modulable. J'ai présenté les facteurs pouvant moduler ce phénomène comme les connaissances expertes.

Mes recherches sur le sentiment de présence dans un environnement virtuel ainsi que sur l'extension des limites m'ont permis de mettre au point la phase expérimentale qui s'est déroulée au second semestre.

Une fois les résultats obtenus et traités, j'ai pu réaliser différentes analyses statistiques sur ces derniers afin d'estimer leur pertinence. Malheureusement, je n'ai pas été en mesure de faire passer suffisamment de participants pour obtenir des données réellement exploitables. Ces données mettent en exergue des pistes de recherche mais ne permettent pas de tirer des conclusions sur l'influence de la charge perceptive sur l'extension des limites.

Avec l'étude des données oculométriques, j'ai pu montrer l'influence de la charge perceptive sur la dispersion du regard de l'utilisateur au sein de l'environnement virtuel. Ces données n'ont pas pu être directement mises en lien avec les résultats de la tâche visuelle en raison de la non significativité de ces derniers.

Pour conclure ce rapport, j'ai eu l'occasion d'acquérir de nombreuses connaissances sur les environnements virtuels et la perception de scènes visuelles. J'ai appris à exploiter des documents scientifiques. Pour la première fois, j'ai eu l'occasion de réaliser de moi-même un recueil de données et de les analyser par la suite. Ce fut une expérience réellement

enrichissante pour moi. Cependant, je reste forcément déçu de ne pas avoir pu faire passer plus de monde et donc d'avoir des résultats peu significatifs. Je pense néanmoins que les travaux que j'ai réalisés sur l'environnement virtuel et les premières données que j'ai recueillies seront utiles pour une poursuite de l'étude de l'influence de la charge perceptive sur l'extension des limites.

Chapitre 5

Annexes

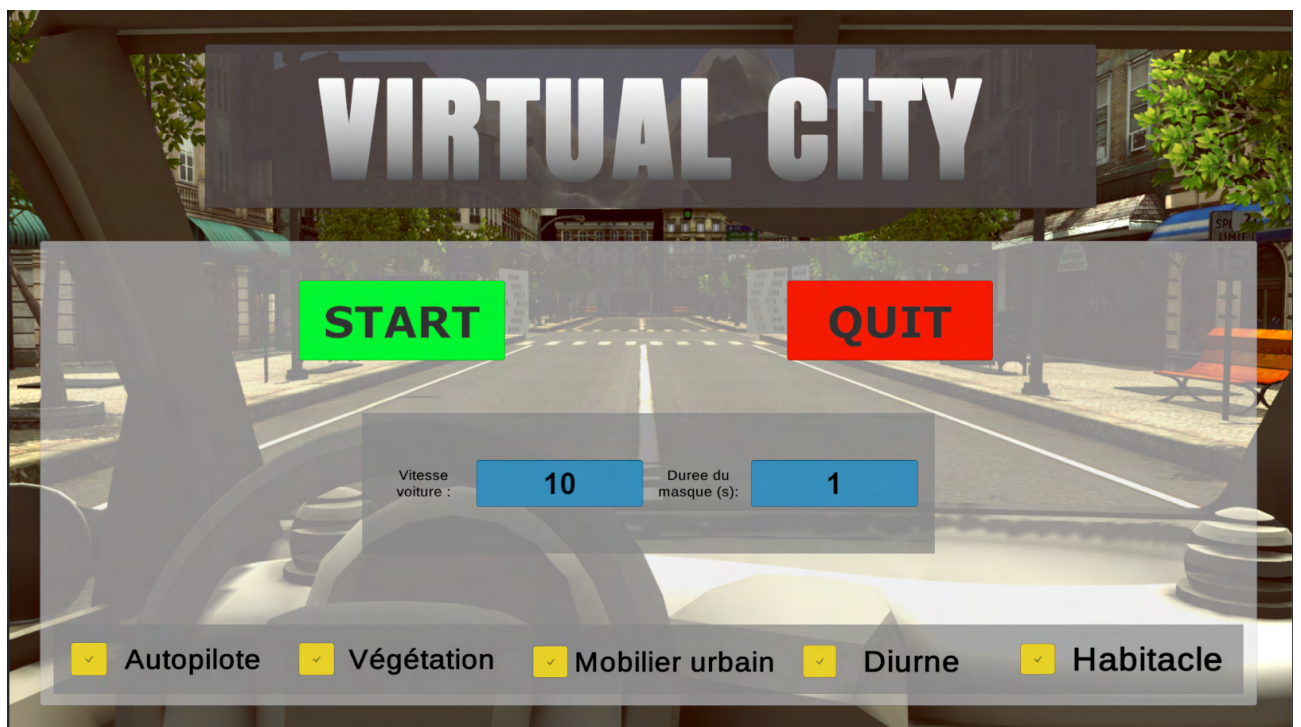


FIGURE 5.1 – Menu de l'application



FIGURE 5.2 – Point de vue du conducteur (conduite)



FIGURE 5.3 – Point de vue externe



FIGURE 5.4 – Point de vue du conducteur (tâche visuelle)



FIGURE 5.5 – Point de vue externe pipeline HDRP



FIGURE 5.6 – Point de vue du conducteur de nuit (conduite)



FIGURE 5.7 – Point de vue externe de nuit

Bibliographie

- [1] Ferrari Blättler and Didierjean. Can expertise modulate representational momentum ? 2010.
- [2] Ferrari Blättler, Didierjean and Marmèche. Role of expertise and action in motion extrapolation from real road scenes. 2012.
- [3] Bouvier. La présence en réalité virtuelle, une approche centrée utilisateur. 2009.
- [4] Ropar Chapman and Mitchell. Understanding boundary extension : Normalization and extension errors in picture memory among adults and boys with and without asperger's syndrome. 2005.
- [5] Freyd. Representational momentum. 1984.
- [6] Intraub. Anticipatory spatial representation of 3d regions explored by sighted observers and a deaf-and-blind-observer. 2004.
- [7] Intraub. More than meets the eye : The effect of planned fixations on scene representation. 2006.
- [8] Intraub and Berkowits. Beyond the edges of a picture. 1996.
- [9] Intraub and Bodamer. Boundary extension : Fundamental aspect of pictorial representation or encoding artifact ? 1993.
- [10] Intraub and Richardson. Wide-angle memories of close-up scenes. 1989.
- [11] Lavie. Perceptual load as a necessary condition for selective attention. 1995.
- [12] Didierjean Menétrier. L'expertise en conduite automobile peut-elle moduler le phénomène d'extension des limites ? 2013.
- [13] Didierjean Menétrier and Robin. Effect of expertise on boundary extension in approach sequences. 2017.
- [14] Didierjean Menétrier and Vieillard. Is boundary extension emotionally selective ? 2013.
- [15] Owens Munger and Conway. Are boundary extension and representational momentum related ? 2005.
- [16] Quinn and Intraub. Looking at scenes while searching for numbers : Dividing attention multiplies space. 2007.

[17] Weber and Plattfaut. Virtual night drive. 2002.

[18] Zeltzer. Autonomy, interaction, and presence. 1991.

Abstract — I started by presenting my knowledge on the feeling of presence within a virtual environment, which is the sensation for the user of the environment to be « present » in it. This feeling depends on several factors, I chose to present those that I felt were the most important in the particular case of designing a driving simulator. I explained how these factors had to be taken into account in order to achieve the strongest possible feeling of presence. Then I presented the state of my research on the psychological phenomenon "Boundary extension". A phenomenon characterised by its robustness, but which nevertheless remains adaptable to many factors. One of these factors, which I presented, is expert knowledge. I then addressed another phenomenon called "Representational momentum", a phenomenon which can occur in a driving situation, it is close to the boundary extension phenomenon but nevertheless independent of the latter. In the third part, I presented the virtual environment "Virtual city" and the work I have done in it. I also presented the visual task and the experiment as it was carried out. In the last part, I presented the processing phase of the results obtained at the end of the experimental phase as well as the analysis that followed and the conclusions that could be drawn on the influence of the perceptual load on the boundary extension.

Key words : Virtual environment, Boundary extension, Representational momentum, Driving simulation, Data analysis, Eyetracker.

Polytech Angers
62, avenue Notre Dame du Lac
49000 Angers